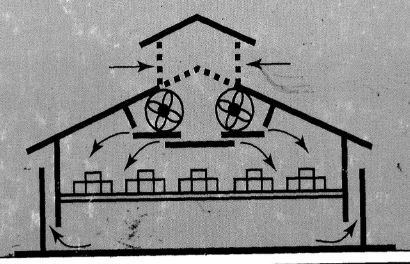
تهوية المنشآت الزراعية

تحرير

ميلو أ. هيليكسون جون ن. ووكر



ترجمة

الدكتور محمد حلمي إبراهيم

النشر العلمي و المطابع

جامعة الملك سعود


الله
بسم الله الرحمن الرحيم

تهوية المنشآت الزراعية

تحرير

ميلو أ. هيليكسون

أستاذ ورئيس قسم الهندسة الزراعية

جامعة ولاية داكوتا الجنوبية، بروكينس

چون ن. ووكر

وكيل كلية الزراعة

جامعة كينتاكي، ليكسنجتون

ترجمة

الدكتور محمد حلمي إبراهيم

أستاذ مشارك - قسم الهندسة الزراعية

كلية الزراعة - جامعة الملك سعود



النشر والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب. ٢٤٥٤ - الرياض ١١٤٥١ - المملكة العربية السعودية

هذه ترجمة عربية مصرح بها لكتاب :

Ventilation of Agricultural Structures by:
Mylo A. Hellickson and John N.Walker

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
تهوية المنشآت الزراعية / ميلو أ. هيليكسون، جون ن. ووكر ؛ ترجمة محمد حلمي طلبة ـ الرياض.
٦١٤ص ؛ ١٧×٢٤ سم
ردمك : ٧-٥٤٧-٠٥-٩٩٦٠ (جلد)
: ٥-٥٤٨-٠٥-٩٩٦٠ (غلاف)
١ ـ المنشآت الزراعية أ ـ ووكر، جون ن. (م. مشارك) ب ـ طلبة. محمد حلمي (مترجم) ج ـ العنوان
ديوي ٢، ٦٣١ ١٨/٠١٥٩

رقم الإيداع : ١٨/٠١٥٩

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي بالجامعة. وقد وافق المجلس على نشره ـ بعد اطلاعه على تقارير المحكمين ـ في اجتماعه الثالث عشر للعام الدراسي ١٤١٦/١٤١٧هـ المعقود بتاريخ ١٢/١١/١٤١٦هـ الموافق ٣١/٣/١٩٩٦م.

مطابع جامعة الملك سعود ١٤١٨ هـ

مقدمة المُترجم

تعتبر الترجمة- التي كانت إحدى دعائم الحضارة الإسلامية في عصورها الزاهرة- أحد الروافد الرئيسية لإثراء المكتبة العربية بالكتب العلمية. وقد قمت بترجمة هذا الكتاب لإضافة بعض المعلومات التقنية التي تفتقر إليها المكتبة العربية في حقل الهندسة الزراعية عامةً وحقل هندسة بيئة المنشآت الزراعية خاصةً. وقد بُذل الجهد في ترجمة هذا الكتاب ليكون كتابًا مقرراً لطلبة الهندسة الزراعية، إلا أنني آمل أيضًا أن يكون مرجعًا مفيداً للتعليم الجامعي والدراسات العليا والدارسين في المعاهد الفنية والقائمين على إدارة وتشغيل المنشآت الزراعية، وذلك إسهامًا في تطوير الحركة العلمية في الوطن العربي. فهناك شعور بما يعانيه الطالب من مشقة استيعاب العلوم بلغة أجنبية، وحتى في حالة الإلمام بتلك اللغة فإن ذلك لا يكون بالضرورة كافيًا لتُمكنَهُ من تتبع المعلومات. فقد لا يتحقق في أغلب الأحيان الفهم والإدراك الكامل للمعلومات إلا عن طريق اللغة الأم.

ومع أن هذا الكتاب قد عُني بتوفير المعلومات لخدمة الإنتاج الزراعي في أمريكا الشمالية، إلا أن محاولة الانتفاع بتلك المعلومات رغم اختلاف الظروف البيئية والمادية سوف يحقق فوائد قيّمة. ويُعد الكتاب عمومًا شاملاً وذا عمق من حيث الإلمام بالمفاهيم البيئية وغزارة المعلومات الأساسية، وقيّمًا كذلك في جوانب علمية وتطبيقية متعددة. وقد كان التركيز على ترجمة اللغة إيمانًا بأهميتها مع الاحتفاظ بالمعادلات لكونها تكاد تكون عالمية من حيث السهولة عند الرجوع والاطلاع بأي لغة أخرى دون مشقة. وفي النهاية أرجو أن أكون قد وُفقت في تقديم عمل مفيد، والله من وراء القصد..

المُترجم

مقدمة المحررين

تعتبر عملية تكييف الظروف البيئية السبب الأساسي الذي من أجله بُنيت المنشآت الزراعية، كما أن لمستوى التحسن في الظروف البيئية التأثير الواضح على العديد من أوجه الإنتاج الزراعي. وتعتبر التهوية أحد أهم عناصر تهيئة البيئة. ويتأثر نظام التهوية- والذي يعتبر عنصراً ضرورياً في نظام تهيئة بيئة المنشآت الزراعية- بالتنوعات ذات المدى الواسع لكل من المتغيّرات الطبيعية والبيولوجية. ويعتمد تصميم نظام تهوية ملائم على مدى الفهم لطبيعة تلك المتغيّرات، وعلى مدى التكامل مع الأساليب الإدارية والعوامل الاقتصادية. ويزيد من تعقيد ذلك النظام كل من المتطلبات البيئية الواسعة التغيّر والظروف المناخية والطبيعة الفعّالة للنظم البيولوجية. ولكن يمكن من خلال تصميم ملائم لنظام التهوية وبمساعدة نظم تهيئة البيئة الأخرى الوصول إلى ظروف بيئية تسمح بالحصول على مستويات إنتاج زراعي لم يكن في المقدور الحصول عليها.

ويحتاج لتطوير التصميمات التي سوف تتيح هذا المستوى من التحكم البيئي إلى فنيين مُدَرَّبين مع توافر المعلومات الحديثة. وقد كانت نية المحررين تجميع "أفضل ما تم الوصول إليه" من معلومات وثيقة الصلة بتهوية المنشآت الزراعية لغرض تهيئة البيئة في مطبوعة مُفْرَدة. ويتطلب ذلك الأخذ في الاعتبار للعلوم الطبيعية والبيولوجية والاستجابات البيولوجية للبيئة والأدوات الطبيعية لتوفير التهوية ونظم التهوية والإدارة ومتطلبات الطاقة والاقتصاديات. وقد تم إعداد كل مجال من تلك المجالات المختلفة في مقطع ملائم في هذا الكتاب.

يونيو ١٩٨٣م　　　　　　**المحرران**

المحتويات

الفصل الرابع: وسائل وأجهزة التحكم في التهوية

الفصل الخامس: التهوية الطبيعية

الفصل السادس: التبريد التبخيري

الفصل السابع: تأثيرات البيئة الحرارية والغازية على الحيوانات المزرعية والدواجن

الفصل الثامن: معدل سريان الهواء لتهوية المواشي والدواجن

الفصل التاسع: نظم تهوية منشآت الحيوانات المزرعية والدواجن

الفصل العاشر: تأثير البيئة على نمو النبات

الفصل الحادي عشر: معدل سريان الهواء لمنشآت البيوت المحمية

الفصل الثاني عشر: نظم التهوية لمنشآت البيوت المحمية

الفصل الثالث عشر: تهوية مخازن المحاصيل البستانية

الفصل الرابع عشر: التهوية - طاقة واقتصاديات

الملاحق

الفصل الأول

مقدمة*

(INTRODUCTION)

تعتبر عملية التهوية من أهم عمليات نظم تهيئة البيئة بالنسبة للمنشآت الخاصة بالإنتاج الحيواني والنباتي. والغرض من نظام التهوية هو توفير هواء نقي معتمداً على ظروف المناخ والمتطلبات البيئية بالنسبة للوحدات البيولوجية داخل المنشأة. وتتغيّر الوظائف الأولية لنظام التهوية بتغيّر نوع التطبيق والمناخ والوقت من السنة ومدى نضج النظام البيولوجي في المنشأة المراد تهويتها وعوامل أخرى. ونتيجة لذلك نجد أن تصميم نظام تهوية يتطلب التكامل لكل من العلوم البيولوجية والفيزيائية مع الأخذ في الاعتبار للمدى الواسع من التفاعلات المعقدة.

ويجب أن يُصاحب نظام التهوية برنامج إداري جيد حتى يتسنى الحصول على تطوير بيئي ناجح. ويمكن إرجاع الفشل في الحصول على إنجاز كاف إلى عدة عوامل مثل ضعف التصميم أو نتيجة لسوء تشغيل وإدارة نظام التهوية. ولسوء الحظ يرجع السبب في المشاكل الناجمة عن أخطاء في التصميم والتركيب إلى عدم توافر المعلومات الكافية والعجز عن فهم التعقيدات والتفاعلات الموجودة داخل المنشآت الزراعية.

ويوجد العديد من القوانين والعلاقات الأساسية التي يمكن استخدامها عند حساب معدلات التهوية المطلوبة وتوزيعات سريان الهواء. وتعتبر تلك القوانين والعلاقات الأساسية من المتغيّرات التصميمية الهندسية التي يجب أخذها في الاعتبار. ولابد أن تتكامل هذه المتغيّرات بالنسبة لنظم التهوية الزراعية مع المتغيّرات البيولوجية والإدارية والبيئية، كما يجب أن تتطور المتغيرات الإنشائية

---

* ميلو أ. هيلكسون : جامعة ولاية داكوتا الجنوبية، بروكينس

چون ن. ووكر : جامعة كينتاكي، ليكسنجتون

والتصميمية لتلائم التغيّرات الكبيرة في الظروف المناخية. ونتيجة لذلك يتعين على مصممي نظم التهوية الفهم الكامل لهذه المتغيّرات. ويجب أن يُصاحب هذا الفهم أيضًا توافر المعلومات وفهم لطبيعة عمل وخصائص الأجهزة المستخدمة في التهوية وتهيئة البيئة.

ويهدف هذا الكتاب إلى توفير المعلومات الأساسية الخاصة بتهوية المنشآت الزراعية عند المستوى المطلوب مع تقديم الخلفية العلمية لكل المهتمين بمجال التهوية الزراعية. ويتم التركيز في هذا الكتاب على التهوية المرتبطة بتهيئة البيئة في المباني الخاصة بكل من الإنتاج الحيواني و النباتي والمخازن. ولا يتضمن هذا الكتاب تطبيقًا للعمليات الهندسية على المنتجات الزراعية مثل تجفيف الحبوب والحشائش. فالغرض من هذا الكتاب هو تقديم " أفضل ماتم الوصول إليه " بالنسبة لتهوية المنشآت النباتية والحيوانية بدءًا بتقديم أساسيات التهوية حتى التطبيق في التصميم والإدارة، مع الأخذ في الاعتبار اقتصاديات وخصائص استخدام الطاقة بالنسبة لنظم محددة. ويتضمن هذا بالضرورة الاعتبارات الفسيولوجية الخاصة بمدى استجابة الماشية والنباتات للبيئة، حيث تعتبر هذه الاستجابات ضرورية للحصول على التصميم والأداء المناسبين لنظم التهوية .

ويتضمن التخطيط التنظيمي لهذا الكتاب وضع أساسيات التهوية والمتغيّرات والعوامل والشروط المناسبة لكل تطبيقات التهوية الزراعية في الفصول من الثاني حتى السادس. وتتيح تلك الموضوعات فهمًا لطريقة إيجاد خصائص الديناميكا الحرارية بالنسبة إلى الهواء الرطب والتي تعتبر ضرورية لتحليل عمليات تكييف الهواء. كما تسمح أيضًا تلك الموضوعات بتقديم أساسيات توزيع الهواء اللازم لعمل التصميمات الخاصة بالخلط الملائم لكل من الهواء الخارجي والداخلي مع التوزيع المنتظم لهذا الهواء المخلوط داخل الأماكن والمخازن المغلقة، كما تسمح أيضًا بتقديم أنواع عديدة من معدات التهوية وخصائص تشغيلها، بحيث يتم اختيار المعدة المتوافقة مع الشروط البيئية المرغوبة وطرق التشغيل والإدارة. وقد تضمنت هذه المناقشات أيضًا أساسيات التهوية الطبيعية والتبريد التبخري. وهناك فصول أخرى تستخدم هذه

الأساسيات الشائعة في تصميم نظام تهوية بالنسبة لتطبيقات محددة .

وقد تضمن الجزآن الثاني والثالث من هذا الكتاب المعلومات الخاصة بتصميم نظم التهوية بالنسبة لمباني الإنتاج الحيواني والنباتي ومنشآت التخزين على الترتيب. وقد تم اختيار الطريقة المتوازية لغرض تصميم وتطوير نظم التهوية بالنسبة لمنشآت الماشية والدواجن والنباتات. وتحتوي الفصول من السابع حتى التاسع على المعلومات الخاصة بتأثير البيئة على كل من الماشية والدواجن، وعلى معدلات هواء التهوية المطلوبة، ونظم التهوية المختارة لمنشآت الإنتاج الحيواني. وقد تم تطوير هذه الفصول، ليس فقط لإمكان حساب المعدلات المطلوبة من الهواء والأجهزة الضرورية، ولكن أيضًا لتقديم المعلومات الأساسية عن أهمية العوامل المتضمنة، وعلى أهمية الأخذ في الاعتبار للتفاعلات المعقدة عند التصميم لنظام تهوية. وتتضمن الفصول من العاشر حتى الثاني عشر طرق مماثلة للتهوية في منشآت الإنتاج النباتي. كما تتضمن أيضًا معلومات عن تأثيرات الظروف البيئية على نمو النبات، وعلى طريقة تحديد تصميم النظام المقترح بناءً على الظروف المطلوبة. ويتضمن الفصل الثالث عشر المعلومات الخاصة بتهوية مخازن المنتجات الزراعية والمتطلبات البيئية وطرق التصميم المختلفة. ولم يناقش هذا الفصل عمليات تجفيف المنتجات أو مخازن التبريد أو التخزين المحكم، ولكنه يقتصر فقط على المحاصيل التي يتم التحكم في تهوية بيئتها. ويجب أن نتذكر أن التطبيق الملائم للمعلومات المتوافرة في الفصول من السابع حتى الثالث عشر تعتمد على تقدير وفهم للأساسيات المعروضة في الفصول من الثاني حتى السادس.

ويختتم الكتاب بملخص يتضمن مناقشة العلاقات بين التهوية والطاقة من الناحية الاقتصادية بهدف توفير معلومات أساسية عن التصميم المتكامل لنظم التهوية. كما تضمن أيضًا مناقشة موجزة عن البرامج الرياضية التي تم تطويرها كأدوات مساعدة لتصميم نظام تهوية معين. كما تضمن الملخص الإجراءات الخاصة والمرتبطة بتأثيرات البيئة على النظم البيولوجية من الناحية الفسيولوجية والاقتصادية والتفاعلات بين اختيار أجهزة نظم التهوية. وتوجد أيضًا دراسة عن العلاقة بين الأداء

والاقتصاديات وكل من التكاليف الثابتة والمتغيرة لأنواع مختلفة من نظم التهوية وكيفية تحليل التكاليف الكلية .

وأخيراً ، يوجد في الملحق بعض المعلومات المناخية المفصلة لمناطق عديدة في الولايات المتحدة الأمريكية . والغرض من تلك المعلومات هو استخدامها في التصميمات الخاصة بمعظم نظم التهوية . ويجب أيضًا استخدام بيانات محلية في حالة توافر تلك البيانات ، أو في حالات تصميمية خاصة .

الفصل الثاني

مقاييس خواص الهواء الرطب*
(PSYCHROMETRICS)

• الأهمية • خواص الهواء الرطب • قانون دالتون
• نسبة الرطوبة • الرطوبة النسبية • الحجم النوعي
• درجة الحرارة • المحتوى الحراري • الخريطة
السيكرومترية• العمليات المؤثرة على مخلوط هواء
-بخار ماء

الأهمية
(SIGNIFICANCE)

تختص القوانين السيكرومترية بتحديد خواص الديناميكا الحرارية للهواء الرطب مع استخدام تلك الخواص في تحليل الظروف والعمليات المرتبطة بهذا الهواء . وتشير تلك القوانين إلى حالة الجو إيماءً للرطوبة .

يتكون الغلاف الجوي للأرض من مخلوط من الغازات بالإضافة إلى كمية متغيرة من بخار الماء . ويبين الجدول رقم (١ , ٢)- والمأخوذ من (International Joint Committee on Psychrometric Data) - تركيب الهواء الجاف . ويجب أن يُلم خريج الهندسة الزراعية المهتم بتصميم نظم تهيئة بيئة النباتات والمحاصيل والحيوانات بالخواص الطبيعية والديناميكا الحرارية لمخاليط هواء-بخار ماء ، أي بالعلاقات السيكرومترية . ويعتبر الإلمام بتلك الخواص مهمًا أيضًا بالنسبة للإنسان، وذلك لتأثرنا الواضح بكل من درجة الحرارة والرطوبة النسبية المحيطة بنا .

---

* مانجولد د. وباندي د. س. : جامعة ولاية أيوا، ايمس أيوا
هيلكسون م. أ. : جامعة ولاية داكوتا الجنوبية، بروكينس

جدول (١,٢). تركيب الهواء الجاف

غاز	الوزن الجزئي		جزء المول من التركيب		الوزن الجزيئي
أكسجين ($أ_٢$)	٣٢,٠٠٠	*	٠,٢٠٩٥	=	٦,٧٠٤
نيتروجين ($ن_٢$)	٢٨,٠١٦	*	٠,٧٨٠٩	=	٢١,٨٧٨
أرجون (أر)	٣٩,٩٤٤	*	٠,٠٠٩٣	=	٠,٣٧١
ثاني أكسيد الكربون (ك $أ_٢$)	٤٤,٠١	*	٠,٠٠٠٣	=	٠,٠١٣
					٢٨,٩٦٦

خواص الهواء الرطب

(PROPERTIES OF MOIST AIR)

يتغيّر وزن بخار الماء في الهواء بتغيّر درجة الحرارة. فيتغيّر المحتوى الرطوبي للهواء من صفر بالنسبة للهواء الجاف إلى ١٠٠٪ رطوبة نسبية (عند التشبع)، وذلك عند درجة حرارة محددة. ويمكن ربط كل من الضغط والحجم والوزن والخواص الحرارية لمخلوط من بخار الماء والهواء بمجموعة متوالية من القوانين المستنتجة بالنسبة للغاز المثالي، وتطبيقها بدقة مقبولة على عمليات تتضمن مخاليط الهواء وبخار الماء تحت الظروف الطبيعية.

قانون الغاز المثالي (Perfect Gas Law)

يمكن وصف الحالة الديناميكا الحرارية للهواء الرطب بمعلومية الضغط وأي خاصيتين أخريتين مستقلتين. وسوف يتضح بعد ذلك أنه قد تم تطوير معظم الخرائط السيكرومترية عند ثبات الضغط، ومن الضروري عند الاستخدام فقط معرفة أي خاصيتين أخريتين مستقلتين. ويمكن كتابة العلاقة الرياضية التي تربط خواص الغاز المثالي على الصورة :

$$P(V) = m(R)(T) \qquad (١,٢)$$

حيث:

P = ضغط البخار، نيوتن/ $م^٢$

V = حجم الغاز ، م[٣]
m = كتلة الغاز ، كجم
R = الثابت العام للغازات ، جول/ كجم . ك
T = درجة الحرارة المطلقة للغاز ، ك .

ويعتبر سلوك مخلوط الهواء وبخار الماء قريبًا من الغاز المثالي ، بحيث إنه يمكن تطبيق المعادلة السابقة مع وجود نسبة خطأ يمكن إهمالها بالنسبة لدرجات الحرارة والضغط في المدى المستخدم لتهيئة البيئة الخاصة بمعظم العمليات المرتبطة بالمنشآت الزراعية . ويمكن استخدام الثابت العام للغازات بالنسبة للهواء الجاف (Ra = 287 J/ kg.K)، وبالنسبة لبخار الماء (Rw= 461 J/kg.K) في الحسابات الخاصة بالهواء داخل المدى البيئي المستخدم في المباني الزراعية .

قانون دالتون

(DALTON'S LAW)

يمكن معاملة مخلوط بخار الماء والهواء الجاف معاملة الغاز المثالي . فنجد على حسب قانون دالتون أن كل عنصر في أي مخلوط من الغازات له ضغطه الجزيئي الذي يعتبر مستقلاً عن الغازات الأخرى . ويعتبر الضغط الكلي لمخلوط الغازات هو مجموع كل الضغوط الجزيئية .

$$P = Pa + Pw = (ma\ Ra\ Ta / Va) + (mw\ Rw\ Tw / Vw) \quad (٢ , ٢)$$

ويفرض انتشار كل غاز داخل المخلوط بانتظام ، فإن كل عنصر غازي له نفس الحجم ودرجة الحرارة ، ومن ثم تصبح المعادلة السابقة :

$$P = (T/V)(ma\ Ra + mw\ Rw) \quad (٢ , ٣)$$

ويمكن كتابة التالي من المعادلة رقم (٢ , ٢) بفرض تساوي حجم ودرجة حرارة المخلوط :

$$(Pw/Pa) = (mw\ Rw)/(ma\ Ra) \quad (٢ , ٤)$$

وعلى ذلك فيمكن حساب الضغوط الجزيئية بمعلومية الضغط الكلي ووزن بخار الماء .

نسبة الرطوبة

(HUMIDITY RATIO)

تعرّف نسبة الرطوبة على أنها كتلة بخار الماء بالكجم الموجودة في واحد كجم من الهواء الجاف في مخلوط من الهواء وبخار الماء. ويمكن كتابة نسبة الرطوبة (w) بالنسبة لمخلوط من الهواء وبخار الماء من المعادلة رقم (٢ , ٢) كالآتي :

$$W = (Mw/Ma) \quad (٢ , ٥)$$

$$= (Pw\ Vw\ Ra\ Ta)/(Pa\ Va\ Rw\ Tw)$$

$$= (Ra\ Pw)/(Rw\ Pa)$$

حيث كل من بخار الماء والهواء الجاف لهما نفس الحجم ودرجة الحرارة . وتصبح نسبة الرطوبة بعد التعويض بالقيم الرقمية لثوابت الغازات كالآتي :

$$W = (mw/ma) = 0.622\ [Pw/(Pat - Pw)] \quad (٢ , ٦)$$

حيث :

W = نسبة الرطوبة ، كجم/ كجم هواء جاف

ma = كتلة الهواء الجاف ، كجم

mw = كتلة بخار الماء ، كجم

Pw = ضغط بخار الماء ، نيوتن/ م^{2}

Pat = الضغط الجوي ، نيوتن/ م^{2} .

الرطوبة النسبية

(RELATIVE HUMIDITY)

تعرّف الرطوبة النسبية (ϕ) على أنها نسبة ضغط بخار الماء الموجود في هواء رطب (Pw) إلى الضغط المشبع لبخار الماء (Ps) عند نفس درجة الحرارة. ويُعبر عن الرطوبة النسبية كنسبة مئوية بالمعادلة التالية :

$$\phi(\%) = (Pw/Ps)*100\% \quad (٢ , ٧)$$

ويمكن الحصول على الضغط المشبع لبخار الماء مباشرةً من أي جدول بخار قياسي .

الحجم النوعي
(SPECIFIC VOLUME)

يُشار إلى حجم غاز أو مخلوط على أنه الحيّز المشغول بكمية معلومة. ويُعرف الحجم النوعي في عمليات تكييف الهواء بالأمتار المكعبة لكل كجم من مخلوط الهواء الجاف وبخار الماء. ويرجع السبب في استخدام واحد كيلو جرام من الهواء الجاف دائمًا إلى بقاء الكيلوجرامات من الهواء الجاف سواء الداخلة أوالخارجة من وحدة التكييف ثابتة في زمن معلوم بعد وصول السريان إلى الحالة المستقرة .

ويمكن حساب الحجم النوعي بتطبيق قانون الغاز المثالي بالنسبة للهواء الجاف فقط .

$$Va = (m_a\ Ra\ Ta/Pa) \qquad (٢,٨)$$

حيث :

Va = حجم واحد كجم من الهواء الجاف عند ضغطة الجزيئي، م^٣/ كجم.

درجة الحرارة
(TEMPERATURE)

يجب عند التحدث عن درجة الحرارة لمخلوط من الهواء وبخار الماء مراعاة أن هناك ثلاثة أنواع من درجات الحرارة وهي ؛ درجة الحرارة الجافة و درجة الحرارة الرطبة ودرجة حرارة نقطة الندى. وتقاس درجة الحرارة الجافة باستخدام ترمومتر زئبقي جاف يوضع بعيداً عن أشعة الشمس. ويجب أن تؤخذ القراءة بعد وقت كافٍ لضمان الوصول بالقراءة إلى مرحلة الثبات .

وتُقاس درجة الحرارة الرطبة باستخدام ترمومتر زئبقي بعد تغطية الجزء السفلي بقطنة مبللة بالماء وتعريضها إلى تيار هوائي. وتتأثر درجة الحرارة الرطبة بدرجة حرارة الماء المستخدم في القطن المبلل، وتتأثركذلك بانتقال الحرارة بالإشعاع بين القطن المبلل والوسط المحيط. وتتم عملية تبخير الماء من القطن المبلل عن طريق الحرارة المحسوسة المنقولة من الهواء المحيط. وكلما كان الهواء جافًا كلما ارتفع معدل البخر، وكذلك انخفضت درجة الحرارة المقروءة ، حيث تنخفض درجة حرارة الترمومتر بزيادة البخر .

وتعرّف درجة حرارة نقطة الندى على أنها درجة حرارة الهواء عند تبريده حتى نقطة التشبع عند نفس ضغط البخار ونسبة الرطوبة. وتعرّف درجة حرارة نقطة الندى أيضًا على أنها درجة حرارة مخلوط من هواء-بخار ماء عندما تبدأ رطوبة الهواء في التكثف خارج الهواء عند التبريد تحت ضغط ومحتوى رطوبي ثابت (نسبة الرطوبة). ويمكن إيجاد درجة حرارة نقطة الندى تجريبيًا عن طريق إمرار مخلوط من هواء-بخار ماء فوق سطح معدني ناعم، بحيث يمكن قياس درجة حرارته والتحكم فيها. فيتم تبريد الجزء المخلوط الملامس للسطح عند تبريد السطح المعدني، وتبدأ عملية التكثيف لبخار الماء بظهور الضباب على السطح المعدني. وتكون درجة حرارة نقطة الندى هي درجة حرارة السطح المعدني عند بدء ظهور الرطوبة. ويرجع الهدف من استخدام سطح ناعم إلى المساعدة على رؤية الضباب بسهولة.

ويستخدم في بعض الأحيان التعبير "انخفاض الحرارة الرطبة" بالميزان المئوي، حيث يُشير إلى الفرق بين درجة الحرارة الجافة والرطبة.

المحتوى الحراري للهواء
(ENTHALPY)

يعرف المحتوى الحراري للهواء على أنه محتوى الطاقة الداخلي لمخلوط هواء-بخار. ويمكن أن يوجد المحتوى الحراري في المخلوط في صورة حرارة محسوسة – موضح بدرجة الحرارة الجافة- وأيضًا في صورة حرارة كامنة للتبخير (الطاقة الموجودة في بخار الماء). ويعبر عن المحتوى الحراري بوحدات ك.جول/كجم. وليس بالضرورة أن تكون قيم الطاقة الداخلية بالوحدات المطلقة. فمن السهل الحصول على تعبيرات عديدة بالنسبة للمحتوى الحراري والتي يعبر فيها عن الطاقة الداخلية بالوحدات المطلقة كفرق بينها وبين قيمة ثابتة هي في الغالب صفر. ويجب أن تكون درجة الحرارة المختارة لكل من الهواء الجاف وبخار الماء صفر °م عند قيمة صفر للمحتوى الحراري.

ويعرّف المحتوى الحراري (hw) المستخدم في العلاقات السيكرومترية بالمعادلة التالية:

$$hw = ha + W hg \qquad (٢ ، ٩)$$

حيث :

ha = المحتوى الحراري للهواء الجاف ، كيلو جول/ كجم

hg = المحتوى الحراري لبخار الماء ، كيلوجول/ كجم بخار ماء

W = المحتوى الرطوبي لبخار الماء ، كجم ماء/ كجم هواء .

وتستخدم المعادلة التقريبية التالية بالنسبة للمحتوى الحراري للهواء الجاف عند درجات حرارة تتراوح مابين صفر و ٦٠ °م .

$$ha = 1.007\ T - 0.026 \qquad (٢ , ١٠)$$

وتكون المعادلة التقريبية عند درجات حرارة منخفضة (أقل من − ١٠ °م) على الصورة

$$ha = 1.005\ T \qquad (٢ , ١١)$$

ويمكن استخدام المعادلة التالية للمحتوى الحراري لبخار الماء :

$$hg = 2501 + 1.84\ T \qquad (٢ , ١٢)$$

ويمكن تجميع المعادلتين رقمي (١٠ , ٢) و(١٢ , ٢) للحصول على تعبير تقريبي للمحتوى الحراري للهواء الرطب عند ضغط جوي ١٠١٣,٢٥ مللي بار كالتالي :

$$hw = (1.007\ T - 0.026) + W\ (2501 + 1.84\ T) \qquad (٢ , ١٣)$$

وتستخدم المعادلة التالية لحساب المحتوى الحراري لهواء رطب عند مدى من درجات الحرارة يتراوح مابين − ١٠ °م و صفر °م :

$$hw = 1.005\ T + W(2501 + 1.84T) \qquad (٢ , ١٤)$$

الخريطة السيكرومترية

(THE PSYCHROMETRIC CHART)

الخريطة السيكرومترية عبارة عن تمثيل بياني لكل من الخواص الطبيعية والحرارية للهواء الرطب ، وذلك كما هو واضح من الشكلين رقمي (١٠ , ٢) و (١١ , ٢) . فتوضح الخريطة كيفية تغيّر حالة الهواء الرطب نتيجة للتغيّر الفيزيائي أو حدوث عملية تكييف .

وتعتبر الخريطة السيكرومترية أداة قيّمة لحل المشاكل الخاصة بتكييف الهواء . ويمكن تمثيل وتحديد أي نقطة تمثل حالة الهواء على الخريطة بمعلومية أي خاصيتين غير متوازيتين من خواص الهواء السيكرومترية . فتحتوي الخريطة السيكرومترية على

درجة الحرارة الجافة للهواء على الإحداثي الأفقي، ونسبة الرطوبة على الإحداثي الرأسي. وتوجد أيضًا خواص أخرى تعرف للهواء مثل: درجة الحرارة الرطبة، والمحتوى الحراري، ودرجة حرارة نقطة الندى، والرطوبة النسبية، والحجم. ويمكن الحصول على تلك الخواص المرتبطة بالهواء الرطب من الخريطة السيكرومترية الموضحة في الشكل رقم (١ , ٢).

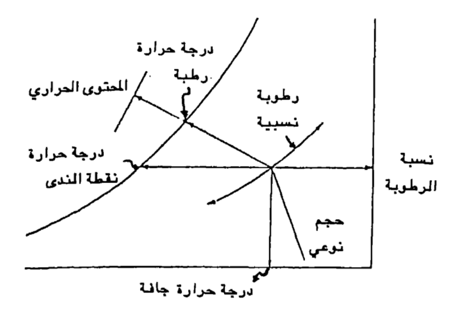
ويوضح الشكل رقم (٢ , ٢) خواص هواء رطب عند درجة حرارة ٢٤ °م ورطوبة نسبية ٥٠٪. ونجد من الخريطة السيكرومترية أن درجة الحرارة الرطبة ١٧ °م ودرجة حرارة نقطة الندى ١٣°م والمحتوى الرطوبي ٠٠٩٤ , ٠ كجم/ (كجم هواء جاف) والحجم ٨٥٥ , ٠ م^{٣}/ (كجم هواء جاف) والمحتوى الحراري ٤٧,٨ كيلو جول/ كجم هواء جاف.

العمليات المؤثرة على مخلوط هواء-بخار ماء
(AIR-WATER VAPOR MIXTURE PROCESSES)

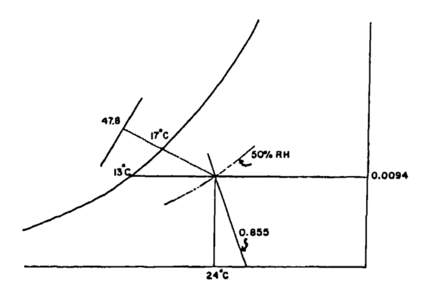
تتضمن عمليات تكييف الهواء كلاً من عمليات التسخين والتبريد والترطيب أو التجفيف لمخاليط هواء-بخار ماء، سواء كانت تلك العمليات تحدث منفردةً أو مجتمعة. ويوجد في مجال الهندسة الزراعية العديد من العمليات التي تتضمن مخاليط هواء-بخار ماء. فقد يتطلب تصميم مباني الإنتاج الحيواني والدواجن بعض التعديلات البيئية. ويوجد أيضًا عمليات تجفيف المحاصيل، حيث تتغيّر خواص الهواء بانخفاض درجة الحرارة وزيادة الرطوبة (adiabatic processes).

التسخين المحسوس (Sensible heating)

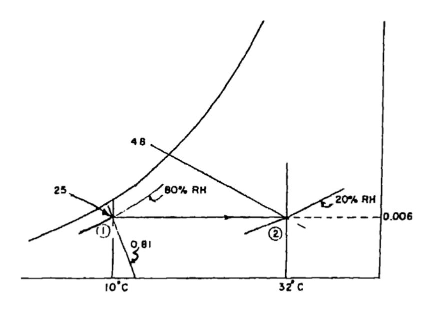
التسخين المحسوس عبارة عن إضافة حرارة للهواء بدون حدوث أي تغير في نسبة الرطوبة. وتشمل تطبيقات التسخين المحسوس كلاً من تسخين الهواء لاستخدامه في تجفيف الحبوب وتدفئة حظائر الماشية وعنابر الدواجن في فصل الشتاء. وتتم هذه العملية بطول خط أفقي يتحرك من اليسار إلى اليمين - من نقطة ١ إلى نقطة ٢ - وذلك كما في الشكل رقم (٣ , ٢).



شكل (١,٢). خواص هواء رطب على خريطة سيكرومترية



شكل (٢,٢). خواص هواء رطب عند درجة حرارة ٢٤ °م ورطوبة نسبية ٥٠ ٪.



شكل (٢,٣). عملية تسخين محسوس

مثال

احسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة ٨١ متر مكعب من الهواء عند ظروف النقطة (١) (درجة حرارة جافة ١٠ °م ورطوبة نسبية ٨٠٪) إلى ظروف النقطة (٢) (درجة حرارة جافة ٣٢ °م). احسب أيضًا الرطوبة النسبية النهائية.

الحل

يوضح الشكل رقم (٢,٣) الحرارة المحسوسة بخط أفقي يمتد من ١٠ °م ورطوبة نسبية ٨٠٪ إلى درجة حرارة ٣٢ °م. ونجد عند نقطة (٢) أن الرطوبة النسبية ٢٠٪. وقد كان الحجم النوعي عند نقطة (١) حوالي ٠,٨١ م³/ (كجم هواء جاف)، والمحتوى الحراري ٢٥ كيلو جول/ (كجم هواء جاف) ودرجة حرارة نقطة الندى ٦,٥ °م ونسبة الرطوبة ٠,٠٠٦ كجم/ (كجم هواء جاف). وكان المحتوى الحراري عند نقطة (٢) حوالي ٤٨ كيلوجول/ (كجم هواء جاف). ويمكن حساب كمية الحرارة المضافة كالآتي:

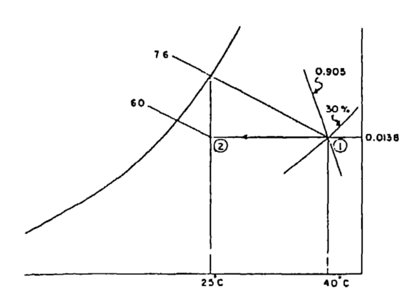
$$ {}_1q_2 = m(h2 - h1) \qquad (٢,١٥)$$

$$ {}_1q_2 = (81/0.81)(48 - 25)$$

$$ = 2300 \text{ kJ}$$

التبريد المحسوس (Sensible cooling)

يعتبر التبريد المحسوس عملية تبريد عند نسبة رطوبة ثابتة. ومثال ذلك مرور هواء فوق حلزون معدني، درجة حرارة سطحه أعلى من درجة حرارة نقطة الندى للهواء. ويمثل التبريد المحسوس بخط أفقي يتحرك من اليمين إلى اليسار، الشكل رقم (٤ , ٢). ويجب أن لا تقل درجة الحرارة الجافة النهائية عن بداية درجة حرارة نقطة الندى وإلا سوف تحدث عملية تكثيف لبخار الماء، ومن ثم تحتوى العملية على إزالة حرارة كامنة .



شكل (٤ , ٢). عملية تبريد محسوس

مثال

احسب كمية الحرارة المزالة من ٣٠ م^{٣} من هواء رطب عند درجة حرارة ابتدائية ٤٠ ْم ورطوبة نسبية ٣٠٪ إذا تم تبريد الهواء إلى ٢٥ ْم درجة حرارة جافة وبدون أي تغير في المحتوى الرطوبي (تبريد محسوس).

الحل. يوضح الشكل رقم (٤ , ٢) خواص مخلوط الهواء.

نقطة (١): الحجم ٠,٩٠٥ م^{٣}/كجم هواء جاف

المحتوى الحراري ٧٦ كيلو جول/ كجم هواء جاف
نقطة (٢): المحتوى الحراري ٦٠ كيلو جول/ كجم هواء جاف
وتبقى الرطوبة ثابتة عند ٠,٠٠١٣٨ كجم/ كجم هواء جاف.
إذن كمية الحرارة المحسوسة المزالة:

$$_1q_2 = ma\ (h1 - h2)$$

$$_1q_2 = (30/0.905)(76 - 60)$$

$$= 530\ kJ$$

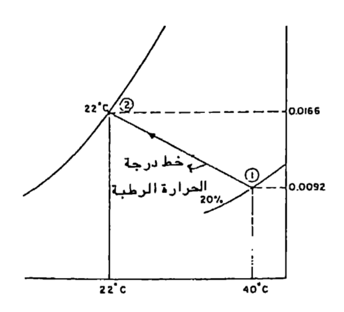
التبريد التبخيري (Evaporative cooling)

يعد التبريد التبخري عملية (أدياباتية) أي يحدث تشبع للهواء ببخار الماء بدون أي إضافة أو فقد للحرارة المكتسبة، أي عند ثبات المحتوى الحراري للهواء. ويكون اتجاه حركة العملية إلى أعلى تقريبًا في خط مواز لخط درجة الحرارة الرطبة. وتتم هذه العملية عن طريق تلامس الهواء مع ماء درجة حرارته مساوية لدرجة الحرارة الرطبة للهواء. وتعمل الحرارة المحسوسة للهواء في البداية على تبخير الماء، مما يؤدي إلى انخفاض درجة الحرارة الجافة للهواء وإضافة بخار ماء إلى رطوبة الهواء. أي أن الحرارة المحسوسة قد تحولت إلى حرارة كامنة في صورة بخار ماء أضيف إلى نفس الهواء. وتتم عملية التبريد بكفاءة عالية في الأجواء الحارة الجافة، حيث الفرق بين درجات الحرارة الجافة والرطبة كبير نسبيًا، بينما تقل كفاءة تلك العملية في الأجواء المشبعة بالرطوبة.

مثال

هواء عند درجة حرارة جافة ٤٠ ْم ورطوبة نسبية ٢٠٪، تم تبريده عن طريق الإمرار على سطح ماء حتى درجة التشبع. احسب كمية بخار الماء المضافة إلى ٣ كجم من الهواء الجاف إذا كانت العملية تبريد تبخيري.

الحل. يتضح من الشكل رقم (٢,٥) أن درجة الحرارة الرطبة للهواء ٢٢ ْم. وتنخفض درجة الحرارة الجافة للهواء أيضًا إلى ٢٢ ْم، بحيث تتبع العملية خطًا موازيًا لدرجة الحرارة الرطبة. ويلاحظ أن الهواء قد وصل إلى درجة التشبع ببخار



شكل (٥ , ٢). عملية تبريد-تبخيري

الماء أو إلى رطوبة نسبية ١٠٠٪ . ويكون الفرق بين نسبة الرطوبة عند النقطتين :

$$= 0.0166 - 0.0092$$

$$= 0.0074 \text{ kg/kg dry air}$$

وتكون كمية بخار الماء المضاف إلى ٣ كجم من الهواء :

$$W = (0.0074)(3)$$

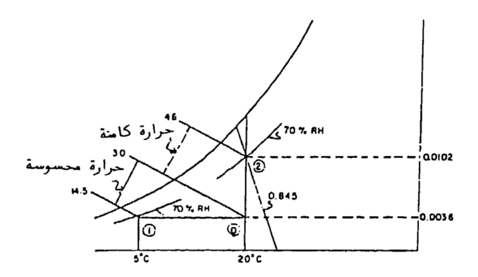
$$= 0.0222 \text{ kg-water}$$

تسخين مع ترطيب (Heating and humidifying)

تحدث عملية التسخين مع الترطيب مع حركة الهواء خلال مباني الإنتاج الحيواني. فتضاف كل من الحرارة والرطوبة المتولدتين من الحيوانات أوالدواجن إلى هواء التهوية كما هو موضح في الشكل رقم (٦ , ٢). و يمكن تمثيل العملية بالمنحنى المتقطع الذي يربط النقطة (١) بالنقطة (٢).

مثال

نفترض أن هناك هواء رطبًا يدخل مبنى عجول عند درجة حرارة ٥ °م ورطوبة



شكل (٢,٦). عملية تسخين مع ترطيب

نسبية ٧٠٪ لإحلاله محل الهواء الداخلي. فإذا كانت عملية إحلال الهواء تتم عند درجة حرارة ٢٠ ْم ورطوبة نسبية ٧٠٪ وبمعدل ٥ م^{3}/ث. احسب كمية الحرارة الكامنة والمحسوسة المضافة إلى الهواء الداخلي.

الحل. يتضح من الشكل رقم (٦,٢) أن الحجم النوعي للهواء المسحوب إلى الخارج من نقطة (٢) هو ٠,٨٤٥ م^{3}/كجم. ويجب لكي يُفصل التغير في المحتوى الحراري الكلي إلى كل من الجزء المحسوس والكامن أن تحدد النقطة (صفر) بحيث تتم عملية التسخين المحسوس من النقطة (١) إلى النقطة (صفر) وعملية الترطيب من النقطة (صفر) إلى النقطة (٢). وتحتوي الحالة (صفر) على نفس نسبة رطوبة الحالة (١)، كما تحتوي على نفس درجة حرارة الهواء الجافة عند الحالة (٢). وعلى ذلك فإن:

h1 = 14.5 kJ/kg da ; W1=0.0036 kg of water/kg da; h0 = 30 kJ/kg da ;

h2 = 46 kJ/kg da.

وتكون الحرارة المحسوسة المضافة إلى الهواء:

$$1q0 = ma(h0 - h1)$$

$$= (5/0.845)(30 - 14.5)$$

$$= 91.6\ kW$$

وتكون الحرارة الكامنة المضافة إلى الهواء :

$$oq2 = ma(h2 - h0)$$

$$= (5/0.845)(46 - 30)$$

$$= 94.6\ kW$$

تبريد مع إزالة رطوبة (Cooling and dehumidifying)

تتضمن عملية التبريد مع إزالة الرطوبة خفض كل من درجة الحرارة الجافة ونسبة الرطوبة. وتعتمد العملية على نوع الأجهزة المستخدمة. فيمر الهواء في ظروف التكييف الصيفية على حلزون المبخر المعدني الخاص بوحدة التبريد. وقد تحدث أيضًا عملية تكثيف لبخار الماء إذا انخفضت درجة حرارة الهواء إلى أقل من درجة حرارة نقطة الندى. وعادة ما تكون الرطوبة النسبية النهائية في الهواء الرطب أعلى من الرطوبة النسبية في البداية، إلا إذا أعيد تسخين الهواء، أو كان الهواء أصلاً مشبعًا. وتتم في هذه العملية أيضًا إزالة كل من الحرارة المحسوسة والكامنة للهواء.

مثال

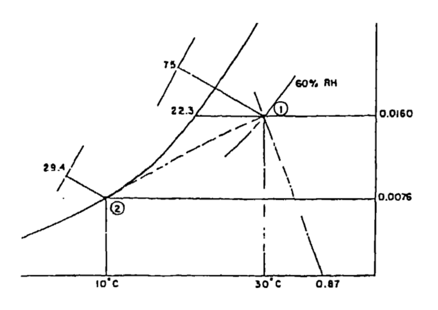
احسب عدد الأطنان التبريدية المطلوبة لتبريد واحد م^{3}/ ث من هواء عند الحالة (١) (درجة حرارة جافة ٣٠ °م ورطوبة نسبية ٦٠٪) إلى الحالة (٢) (درجة حرارة جافة ١٠ °م ورطوبة نسبية ١٠٠٪) احسب أيضًا كمية الرطوبة المزالة (الطن التبريدي هو سعة التبريد لإزالة ٣,٥١٦ كيلوواط).

الحل. يوضح الشكل رقم (٢,٧) الخواص المطلوبة في هذه المسألة.

حالة (١) : المحتوى الحراري لمخلوط الهواء وبخار الماء ٧٥ كيلوجول/ كجم هواء جاف، والحجم ٠,٨٧ م^{3}/ كجم هواء جاف، ونسبة الرطوبة ٠,٠١٦ كجم بخار ماء/ كجم هواء جاف .

حالة (٢) : المحتوى الحراري ٢٩,٤ كيلو جول/ كجم هواء جاف، ونسبة الرطوبة ٠,٠٠٧٦ كجم بخار ماء/ كجم هواء جاف .

إذن سعة التبريد المطلوبة (بالطن تبريد):



شكل (٢,٧). عملية تبريد مع خفض الرطوبة

$$q_T = ma\,(h1 - h2)$$
$$= (1/0.87)(75-29.4)$$
$$= 52.4 \text{ kW or } 14.91 \text{ tons}$$

وتكون كمية بخار الماء المزالة أثناء العملية :

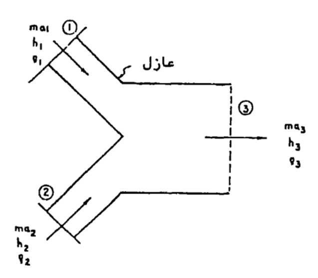
$$mw = (1/0.87)(0.016 - 0.0076)$$
$$= 0.00965 \text{ kg/s}$$

الخلط الأدياباتي لهواء رطب (Adiabatic mixing of moist air)

تعد عملية خلط هواء عند ظروف حالتين مختلفتين للحصول على حالة ثالثة من عمليات التكييف الشائعة الاستخدام. فإذا كانت عملية الخلط أدياباتية، كما هو موضح في الشكل رقم (٢,٨)، فإنه يمكن على أساس قانون بقاء المادة كتابة معادلتي الاتزان الكتلي كالتالي :

$$m_{a1} + m_{a2} = m_{a3}$$

وذلك بالنسبة للهواء الجاف، أما بالنسبة لبخار الماء المصاحب فإن :



شكل (٢,٨). عملية خلط أدياباتي لهواء رطب

$$W1\ m_{a1} + W2\ m_{a2} = W3\ m_{a3}$$

أي أن:

$$(W1 - W3)ma1 = (W3 - W2)\ ma2$$

$$(W1 - W3)/(W3 - W2) = m_{a2}/m_{a1} \quad (٢,١٦)$$

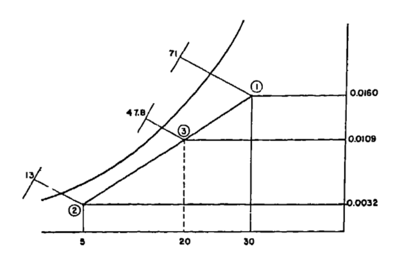
وبالمثل نجد بالنسبة لاستخدام أساس بقاء الطاقة أن:

$$(h_1 - h_3)/(h_3 - h_2) = m_{a2}/m_{a1} \quad (٢,١٧)$$

وتقع نقطة الحالة النهائية عند خلط تياري هواء أدياباتيًا على الخط الواصل بين حالتي الهواء قبل عملية الخلط. وتُقسم نقطة حالة الخليط على ذلك الخط بالنسبة العكسية إلى كتلتي تياري الهواء الجاف قبل عملية الخلط.

مثال

تم خلط هواء رطب عند درجة حرارة جافة ٣٠ °م ورطوبة نسبية ٦٠ ٪ أدياباتيًا مع هواء رطب درجة حرارته الجافة ٥ °م ورطوبته النسبية ٦٠ ٪ كما في الشكل رقم (٢,٩). احسب كلاً من المحتوى الحراري ونسبة الرطوبة لهواء المخلوط إذا كانت



شكل (٢,٩). عملية خلط - أدياباتي

كتلتي الهواء قبل عملية الخلط ٣ و ٢ كجم على الترتيب.

الحل. نجد من الخريطة السيكرومترية أن:

W1 = 0.016 kg/kg dry air

W2 = 0.0032 kg/kg dry air

h1 = 71 kJ/kg dry air

h2 = 13 kJ/kg dry air

ونجد بالنسبة لقانون بقاء المادة أن:

$$W3 = (W1\, m_{a1} + W2\, m_{a2})/(m_{a1} + m_{a2}) \quad (٢,١٨)$$

$$= ((0.016)(3) + (0.00323)(2))/(3 + 2)$$

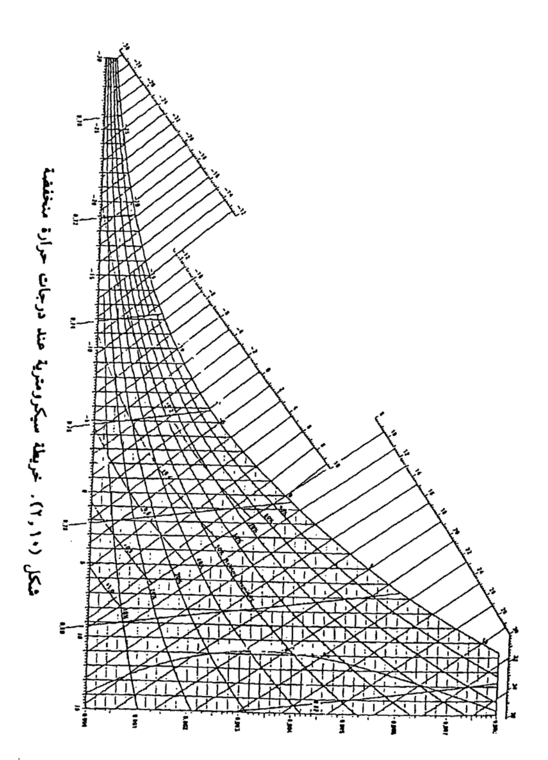
$$= 0.0109 \text{ kg/kg dry air}$$

$$h3 = (h1 m_{a1} + h2 m_{a2})/(m_{a1} + m_{a2}) \quad (٢,١٩)$$

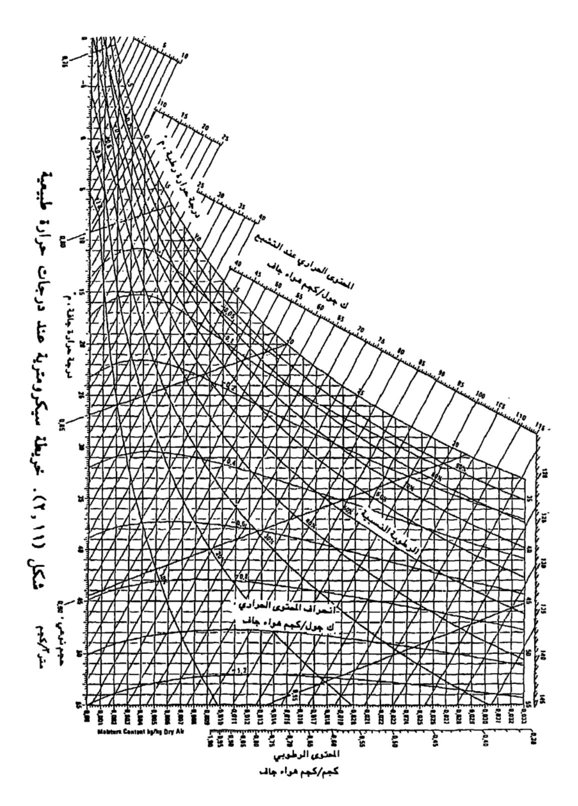
$$= ((71)(3) + (13)(2))/(3 + 2)$$

$$= 47.8 \text{ kJ/kg dry air}$$

ويمكن بمعلومية خاصيتين من خواص المخلوط تحديد حالة المخلوط على الخط المستقيم الواصل بين الحالتين (١) و (٢).



شكل (٢,١٠). خريطة سيكرومترية عند درجات حرارة منخفضة



شكل (١١, ٢). خريطة سيكرومترية عند درجات حرارة طبيعية

المراجع

1 ASHRAE. Handbook of fundamentals. 1972. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. New York, NY.

2 Harris, Norman C. and David F. Conde. 1974. Modern air conditioning practice. McGraw-Hill, Inc.

3 Jones, W. P. Second edition. 1973. Air conditioning engineering. Edward Arnold.

4 Jordan, Richard C. and Gayle B. Priester. 1956. Refrigeration and air conditioning. Prentice-Hall, Inc.

الفصل الثالث

توزيع هواء التهوية*
(VENTILATION AIR DISTRIBUTION)

● مداخل الهواء ● علاقات أساسية لنافورات هواء التهوية ● توزيع هواء التهوية ● قياس هواء الأرضية

تتضمن التهيئة الفعّالة للبيئة في معظم المنشآت الحيوانية والنباتية طرق إدخال الهواء الخارجي إلى الحيّز المشغول بالنباتات أو الحيوانات. ويعتبر كل من معدل الهواء وطريقة توزيعه مهمتين بالنسبة لتصميم نظم التهوية. ويمكن للمهندس– لكي يحصل على التحكم المطلوب – أن يستخدم أنواعًا عديدة من الأنابيب والموزعات والمخارج والمداخل والمراوح سواء الضاغطة أو الطاردة.

ويجب أن تتم عملية توزيع كمية الهواء المطلوبة توزيعًا جيدًا خلال الحيّز وذلك لضمان أداء جيد لنظام التهوية. ويعتبر مدخل الهواء ذا تأثير كبير على عملية توزيع الهواء. ويعتبر كل من المدخل والمروحة ذوا أهمية في حساب معدل التهوية. وبالرغم من أنه يجب الأخذ في الاعتبار طريقة توزيع الهواء ومعدل التهوية معًا عند تصميم مدخل هواء، إلا أنه من الأيسر لأغراض المناقشة أن يتم الفصل بينهما. وسوف يتم الأخذ في الاعتبار أولاً في هذا الفصل تصميم مدخل

---

* جاك د. ويلسون : جامعة ولاية كاليفورنيا – سان لويس أوبيسبو

لويس د. البريت : جامعة كورنيل – آثاكا

چون ن. ووكر : جامعة كينتاكي – ليكسنجتون

هواء بالنسبة لمعدل تهوية محدد.

مداخل الهواء

(AIR INLETS)

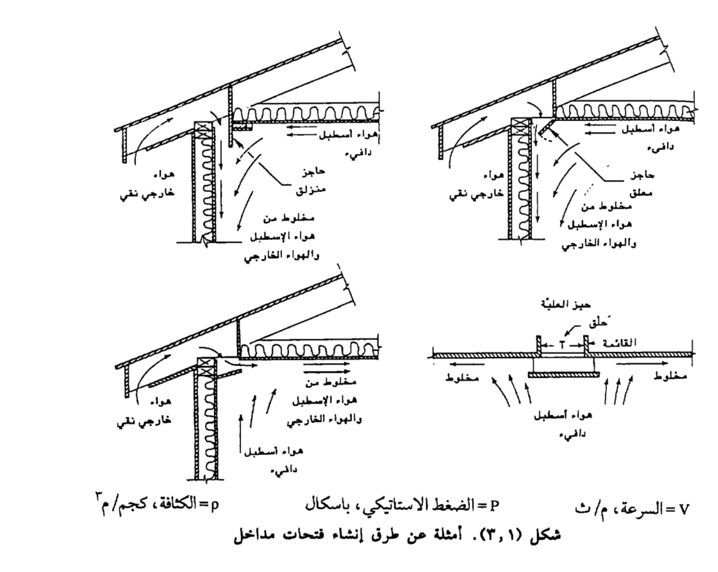
تصميم المدخل (Inlet Design)

الأنواع (Types). يمكن استيفاء الأهداف الخاصة بالحصول على تهوية جيدة بالنسبة للمباني الزراعية باستخدام عدة تصميمات لنظم التهوية. فيمكن تقسيم تصميمات مداخل الهواء بالنسبة لنظم الطرد بسهولة إلى ثلاثة أنواع عامة: (أ) فتحات محيطية بحواجز مفصلية لتوجيه الهواء (ب) فتحة مركزية بوسط السقف (جـ) أنبوبة أو ماسورة تهوية مع ثقوب دائرية بطول الماسورة تستخدم في توزيع الهواء. ويتم تركيب العديد من الفتحات في موقع العمل مع تغيّرات جذرية في التركيب من موقع إلى آخر. ولكن قد يؤول العديد من هذه التركيبات في النهاية إلى أحد النماذج الأربعة الموضحة في الشكل رقم (١, ٣). وهناك ثلاثة أنواع من الأربعة تعتبر من النوع المحيط، أما النوع الرابع فيستخدم التصميم المستمر لفتحة مركزية بوسط السقف. وغالبًا ماتستخدم الفتحة المركزية الموجودة بوسط السقف مع نظم التهوية الضاغطة. وتعتبر مداخل موزعات السقف من أنابيب الضغط والحواجز الموجودة في مقدمة مراوح الضغط من الأنواع الشائعة. وتعتبر الأنابيب ذات الصناديق الرأسية والموجودة في مقدمة الحائط الجانبي والمركب عليها مراوح مع مدخل أفقي في أنبوبة السقف شائعة الاستخدام أيضًا في نظم التهوية ذات الضغط الإيجابي في المنشآت الزراعية.

معادلة الاستمرار (Continuity Equation) . يمكن وصف السريان الثابت للموائع غير القابلة للانضغاط وذات الكثافات المنخفضة بمعادلة الاستمرار بالإضافة إلى معادلة برنولي للطاقة، والتي تأخذ الشكل التالي:

$$\rho(V^2/2) + P = \text{constant} \qquad (٣, ١)$$

حيث:



V = السرعة، م/ث　　P = الضغط الاستاتيكي، باسكال　　p = الكثافة، كجم/م^3

شكل (١, ٣). أمثلة عن طرق إنشاء فتحات مداخل

ويمثل الجزء ($\rho V^2/2$) ضغط السرعة (VP) الذي إذا تم إضافته إلى الضغط الاستاتيكي نتج عنه الضغط الكلي (TP) للمائع المتحرك.

وتُكتب معادلة برنولي الخاصة بهواء خارجي يمرر من خلال فتحة تهوية كالتالي:

$$\rho V_o^2/2 + P_o = \rho Vi^2/2 + Pi \quad (٣,٢)$$

ويمكن حساب السرعة خلال المدخل في حالة ما إذا كانت سرعة هواء الجو الخارجي صفراً كالتالي:

$$Vi = [2\ (Po - Pi)/\rho]^{0.5} \quad (٣,٣)$$

وتربط معادلة الاستمرار معدل السريان الحجمي (م٣/ ث) خلال مساحة المدخل (A_a) (م٢)، وعند سرعة V_a (م/ ث) كالآتي:

$$Q_a = A_a(V_a) \quad (٣,٤)$$

ويكون معدل السريان بالنسبة لوحدة الأطوال لمدخل عرضه (W) بالأمتار وطول (l) بالأمتار كالتالي:

$$Q_a/l = W(V_a) \quad (٣,٥)$$

ويكون معدل سريان الهواء الحجمي (Qi) بالنسبة لوحدة الأطوال من مدخل عرضه (W) بالأمتار كالتالي:

$$Qi/l = W(Vi) \quad (٣,٦)$$

ويمكن استخدام معامل التصرف المحسوب بالتجارب (C_d) مع المعادلة رقم (٦, ٣) للتنبؤ بمعدل السريان الحجمي الحقيقي (Q_a) . ويتضمن حساب كل من معامل التصرف الفواقد الناتجة عن الاحتكاك والدوّامات وتغيّر مساحة مقطع السريان وبعض التأثيرات الأخرى.

$$Q_a/l = C_d(Qi)/l = C_d(W)[2(Po - Pi)/\rho]^{0.5} \quad (٣,٧)$$

ويعبر عن ضغط الهواء الاستاتيكي عند تركه لمدخل بضغط حيّز الهواء الداخل إلى الفتحة. وهكذا فإن فرق الضغط الاستاتيكي $\Delta P = Po - Pi$ عبارة عن فرق

الضغط بين مقدمة ومؤخرة المدخل. ويسمى سريان الهواء الناتج عن فرق الضغط الاستاتيكي عند المدخل بنافورة الهواء.

معامل التصرف (Coefficient of Discharge). يعرف معامل التصرف بحاصل ضرب معاملي السرعة والانكماش واللتين تبلغ قيمة كل منهما واحداً صحيحًا أو أقل. ويُحسب معامل السرعة على اعتبار أن سريان الهواء احتكاكي، كما يحسب معامل الانكماش من انكماش نافورة السريان عند الاختناق. ويعتبر معامل التصرف دالة في كل من نوع الفتحة والتصميم المستخدم، ويجب حسابه تجريبيًا لكل نوع من أنواع فتحات الهواء.

ويجب توخي الحذر عند اختيار قيمة هذا المعامل أثناء تصميم نظام للتهوية. وهناك احتمال ظهور أخطاء جذرية إذا كان هذا المعامل لاينطبق على تصميم معين لفتحة تهوية. وأحد الأرقام المقترحة لمعامل الانكماش بالنسبة لفتحة طويلة وضيقة ٦ , . ويوصى باستخدام معامل تصرف مقداره ٨ , ٠ بالنسبة للفتحات المعلقة، حيث سريان الهواء النقي يمر فوق قمة الحائط الخارجي، ثم يتم التوجيه بعد ذلك إلى أسفل السطح الداخلي لنفس الحائط. ويتم خفض معامل التصرف إلى ٥ , ٠ بالنسبة للحالة التي يتم فيها إحضار الهواء من الخارج فوق قمة الحائط مع تغيير وتوجيه الهواء إلى وسط السقف. وقد وجد بالدراسة التي أجريت على فتحة مركزية موجودة بوسط السقف أن معامل التصرف يتأثر بقوة بالشكل الهندسي للفتحة. وتتراوح قيم هذا المعامل من ٢ , ٠ إلى ٨ , ٠، وتعتمد أساسًا على النسبة بين عرض فتحة التهوية إلى العرض المار فيه الهواء من السقف إلى الحيّز الهوائي بين السقف والسطح الخارجي للمبنى (العليّة). وقد أوضحت دراسة باستخدام التمثيل الرياضي على فتحات التهوية أن قيمة معامل التصرف ٤ , . ويمكن حساب معامل التصرف عند تولد نافورة هواء حرة من فتحة مستطيلة أو دائرية عن طريق استخدام الطريقة البيانية.

سرعة الهواء عند المدخل (Inlet Velocity). من المرغوب والمعقول أن تكون سرعات الهواء مرتفعة خلال فتحات التهوية، وذلك بالنسبة للتهوية في كل من الأجواء الباردة والحارة. فتؤدي سرعات الهواء العالية إلى إحداث دوامات،

وعملية خلط سريعة قرب النافورة المتكونة بالنسبة للهواء الداخل، وكذلك تتولد نماذج دائرية ذات أحجام كبيرة للهواء من خلال الحيّز المهوي. وتتراوح سرعات الهواء النموذجية الداخلة من ٥, ٢ إلى ٥ (م/ث). ويزداد فرق الضغط الاستاتيكي المطلوب لزيادة السرعة إلى أعلى من ٥ (م/ث)، وذلك بالنسبة للمراوح الرفاصة (propeller).

وهناك سبب آخر مهم للحصول على سرعة عالية للهواء بالإضافة إلى عملية الخلط الجيد وإحداث الدوامات. فيمكن عند الاحتفاظ بسرعة مرتفعة نسبيًا المحافظة على فرق ضغط استاتيكي وكاف، وذلك كما في المعادلة رقم (٣, ٣). وفي الغالب يعتبر استخدام فرق ضغط مقداره من ١٠ إلى ٣٠ باسكال كافيًا لمنع حدوث تأثيرجوهري للرياح. فقد تصبح الرياح- حتى ولو كانت خفيفة- قادرة على سحب الهواء إلى خارج المبنى من خلال المداخل إذا كان فرق الضغط أقل من ١٠ باسكال. وقد يحدث ذلك عند فرق ضغط ١٠ باسكال مع سرعة رياح منخفضة من ١٥ - ٢٠ (كم/ساعة). وقد لايتوافق هذا الوضع إطلاقًا مع أساليب التهوية الجيدة.

تصميم مداخل الهواء- الطريقة المبسطة

(Slotted Inlet Design, the Simplified Approach)

تعتمد الطريقة المبسطة على استخدام معادلة الاستمرار فقط في التصميم، ومن ثم يعتمد التصميم اعتماداً كبيراً على الاختيار السليم لمعامل التصرف وفرق الضغط الاستاتيكي المفروض بالنسبة للدقة المطلوبة.

مثال رقم ١ : نفترض وجود حظيرة ماشية حلابة تحتوي على ١٠٠ بقرة بمتوسط وزن ٥٥٠ كجم، وتتم التهوية باستخدام نظام ضغط سالب. وتوجد فتحات للتهوية على جانبي الحظيرة بطول ١٤٠ (م). احسب عرض فتحة التهوية المطلوب عند فرق ضغط ١٠ باسكال لإحداث معدل تهوية مقداره ١٥, ٠(م^3/ث) لكل ٥٠٠ كجم من وحدات الأوزان الحيوانية.

الحل. نفترض بالنسبة لهذا المثال أن هواء التهوية يُحسب من خلال الفتحات المخططة للاستخدام. وعلى هذا فإن معدل التهوية الكلي:

$$Q_a = (100)(550/500)(0.15) = 16.5\ m^3/s \qquad (٣,٨)$$

ويمكن فرض معامل تصرف ٨,٠، نظراً لأن نظام الفتحة من النوع المفصلي، وأن:

$$Qi = 16.5/0.8 = 20.6\ m^3/s \qquad (٣,٩)$$

ونجد بفرض كثافة للهواء عند الظروف القياسية ٢,١ (كجم/ م٣) أن:

$$Vi = [(2)(10)/1.2]^{0.5} = 4.1\ m/s \qquad (٣,١٠)$$

إذن العرض المطلوب للفتحة التي طولها ١٤٠ (م):

$$W = 20.6/(140)(4.1) = 36\ mm \qquad (٣,١١)$$

ويكون معدل سريان الهواء المتنبأ به خلال المدخل ١٦,٥ م٣/ث (١٢,٠ م٣/ث لكل متر طولي من الفتحة)، وذلك بفرض عرض فتحة المدخل ٣٦م وفرق ضغط ١٠ باسكال.

تصميم مداخل الهواء- طريقة أداء النظام

(Slotted Inlet Design, System Performance Technique)

منحنيات الأداء **(Performance Graphs)**. لم تؤخذ تفاعلات مراوح التهوية مع مداخل الهواء في الاعتبار في طريقة تصميم المدخل التي تمت مناقشتها سابقًا. فيحتفظ أي نظام تهوية بنوع من الاتزان إذا كان سريان الهواء خلال المراوح يعادل سريان الهواء عند المداخل. ويمكن تحديد نقطة الاتزان على أنها الحالة التي يتساوى عندها فرق الضغط حول المروحة مع فرق الضغط عند المدخل مع تساوي معدلي السريان.

وسوف يكون لكل نظام من المراوح المنحنى الخصائصي لسريان الهواء الخاص به مع اعتبار سريان الهواء دالة في فرق الضغط الاستاتيكي. ويوضح كل منحنى أيضًا أقصى معدل سريان عندما لايكون هناك أي فرق للضغط (ظروف هوائية

حرة) . و قد يصل المنحنى إلى النقطة حيث لا يوجد سريان للهواء عند بعض فروق الضغوط بالنسبة للضغوط المختصرة أوالمختزلة . ويقع مدى الضغوط المختصرة بالنسبة للمراوح المحورية التي تستخدم للتهوية في المنشآت الزراعية من ١٠٠ إلى ١٥٠ باسكالاً .

وقد يعمل نظام مدخل الهواء بنظام متعاكس . فبينما لا يوجد أي سريان للهواء عند صفر فرق ضغط ، نجد أن سريان الهواء يتزايد - بمعدل متناقص - مع زيادة فرق الضغط . ويتقاطع رسم منحنيين وخصائصهما على نفس المحاور في نقطة واحدة . وتعتبر نقطة التقاطع هي نقطة التشغيل التي تحدد معدل التهوية وفرق الضغط الناتج من نظام التهوية .

و يعد من أحد مميزات استخدام طريقة تصميم أداء النظام أنه لا توجد أي فروض خاصة بأخذ فروق الضغوط في الاعتبار . فقد تم بالنسبة لمعادلة الاستمرار فرض فروق ضغط استاتيكية قبل البدء في التصميمات . ويتم الأخذ بالفروض سواء كان نظام المروحة المركب سوف يتيح استخدام معدل التهوية عند الضغط الاستاتيكي المفروض أم لا .

ويعتبر فهم ديناميكية النظام والتي يمكن اكتسابها من رسم منحنيات الخصائص للأنظمة المختلفة هو الميزة الثانية لهذه الطريقة . فنجد عند استخدام المنحنيات الخاصة بأي نظام إمكانية رؤية مدى ارتباط تأثيرات التغيير في المداخل والمراوح على كل من المروحة وفرق الضغط الاستاتيكي .

وقد تم تطوير طريقة خصائص النظام بالنسبة للتطبيق على نظم التوزيع الخاصة بكل من مروحة - ماسورة [٨] . ولكن نجد من وجهة نظر النظم تشابه التهوية بكل من مداخل الهواء في نظام مروحة - ماسورة . ويتم إتاحة مقاومة السريان باستخدام حواجز عند المدخل بدلاً من الماسورة ، وكذلك يتم استعمال عدة مراوح على التوازي بدلاً من استخدام مروحة واحدة . ويلاحظ أنه يتم الحصول على نفس الوظائف بنفس الإنجازات ، ولكن قد يكون الفرق نتيجة اختلاف بعض العناصر .

ويجب أن تكون البيانات الخاصة برسم أداء المروحة متوافرة لدى المصنع الذي سيتم بواسطته تركيب نظام أو نظم التهوية . والاحتياط الوحيد الواجب أخذه في

الاعتبار هو تطابق البيانات المنشورة مع بيانات المروحة عند التركيب. ويعني ذلك تطابق البيانات بعد الانتهاء من كل التركيبات مع الأخذ في الاعتبار لفواقد التشغيل.

وتتوافر حاليًا بيانات لرسم خصائص المداخل الخاصة بالفتحات المفصلية والمحيطية(٢) والمستوية والفتحة المستوية بوسط السقف(٣). ويمكن إنشاء مداخل الفتحات المفصلية بإحدى طريقتين. وعامة في كلتا الحالتين، يتم إحضار الهواء النقي إلى أعلى السطح الخاص بالحائط الخارجي، الشكل رقم (١ , ٣). ويمكن أن تتصل بوابة التهوية إما بالسقف أو بالحائط كما هو موضح بالشكل. فيتم دفع الهواء في حالة توصيل البوابة بالحائط من خلال دوران إضافي عبر السقف. و يمكن – إذا كان سريان الهواء ملاصقًا إلى الحائط – حساب معدل السريان لكل متر طولي من الفتحة كالتالي:

$$Q_a/l = 0.0012\ (W)^{0.98}\ (\Delta\ P)^{0.49} \qquad (٣ , ١٢)$$

حيث:

Q_a: م³/ ث

W: عرض الفتحة، م .

ويكون معدل السريان في حالة توجيه الهواء ليمر عبر السقف كالآتي:

$$Q_a/l = 0.00071\ (W)^{0.98}\ (\Delta P)^{0.49} \qquad (٣ , ١٣)$$

ويبدو أن الانخفاض في معدل التهوية راجع إلى الدوران الإضافي للهواء في المسار الخاص به.

ويمكن وصف سريان الهواء من الفتحة المستوية بوسط السقف كالتالي:

$$Qa\ /l = 0.0013\ (W)^{0.98}\ (\Delta P)^{0.49}\ (Bs/b)^{0.08}\ e^{[-0.867\ (W/b)]} \qquad (٣ , ١٤)$$

حيث:

Bs : عرض الفتحة خلال السقف إلى الحيز أعلى السقف، م

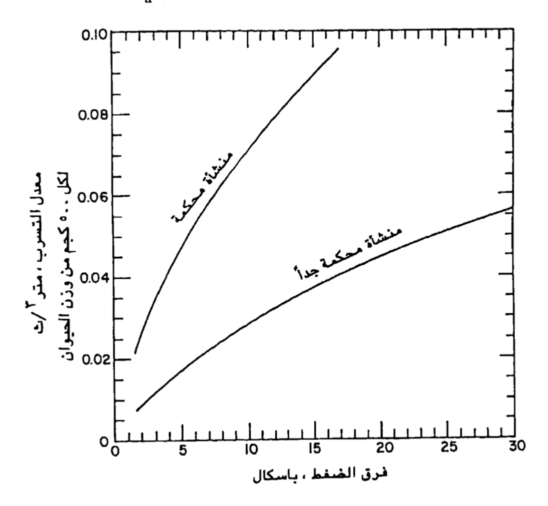
b : عرض البوابة، م

ويعتبر معدل تسرب الهواء كدالة في فرق الضغط هو المتغيّر الأخير المطلوب لاستخدام طرق تصميم خصائص النظام. ويوضح الشكل رقم (٣,٢) البيانات الوحيدة المتاحة حاليًا بالنسبة لمعدلات التسرب[٦]. ويمكن التعبير عن تلك البيانات في صورة معادلات. فيمكن تمثيل البيانات لكل منشأة شديدة الإحكام بواسطة المعادلة التالية:

$$Q_a \text{ (per 500 Kg animal unit)} = 0.006\ (\Delta P)^{0.67} \quad (٣,١٥)$$

ويمكن تمثيل المعادلة الخاصة بالمنشأة الزراعية المحكمة بواسطة المعادلة التالية:

$$Q_a \text{ (per 500 Kg animal unit)} = 0.017\ (\Delta P)^{0.67} \quad (٣,١٦)$$



شكل (٣,٢). معدلات التسرب كدالة في فرق الضغط بالنسبة لثلاث حظائر حليب بولاية بنسيلفانيا.

مثال رقم٢ (عن استخدام خصائص النظام):

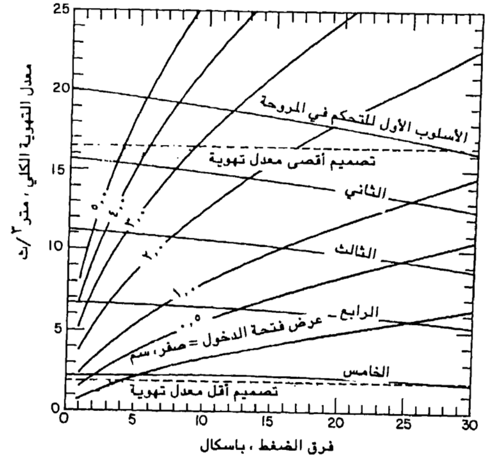
استكمالاً للمثال السابق والخاص بتصميم حظيرة ماشية، سيتم إعادة تحليل نظام المدخل باستخدام خصائص النظام. نفترض أن البوابة الهوائية من النوع المفصلي مع سريان للهواء ملاصق للحائط. فيكون معدل السريان الكلي من خلال المداخل السابقة التخطيط أوغير المخططة بالنسبة لـ ١١٠ وحدات حيوانية و١٤٠ متراً طوليًا للفتحة كالتالي:

$$Q_a = 0.161\ (W)^{0.98}\ (\Delta P)^{0.49} + 0.66\ (\Delta P)^{0.67} \qquad (٣, ١٧)$$

وقد رُسمت هذه المعادلة في الشكل رقم (٣, ٣) بالنسبة لأعراض مداخل مختارة عند مدى من الضغوط الهوائية تحدث في الغالب في معظم تطبيقات تهوية الحظائر.

وحتى يكتمل الشكل رقم (٣, ٣)، فإنه لابد من فرض البيانات الخاصة بعمل المراوح. وقد يتطلب هذا الأمر تخطيطًا ابتدائيًا لتحديد النظام التجريبي للمراوح وأجهزة التحكم اللاحقة بها. فنفترض بالنسبة لهذا المثال أنه من المرغوب الحصول على تصميم لأقصى معدل تهوية ١٦,٥ (م^3/ث) باستخدام أربعة مراوح (٩ , م - ٣٧٣ واط) ومروحة مفردة (٦ , م - ٢٤٨ واط) تعمل باستمرار في سحب الهواء من مستوى الأرضية للمبنى. ويتم التحكم في كل المراوح باستخدام أداة تنظيم الحرارة آليًا (الثرموستات)، ويتم تجميعها في مستودع واحد في وسط أحد الحوائط الطولية. ويتم أيضًا التحكم في المراوح ذات الأحجام الكبيرة كل على حدة، فتعمل مروحة واحدة واثنتان وثلاث وأربع في وقت محدد يتوقف على درجة الحرارة داخل الحظيرة. ويوضح الشكل رقم (٣, ٣) الأساليب الخمسة لتشغيل المراوح عند فرض البيانات الخاصة بالأداء. والأساليب الخمسة لتشغيل المراوح هي: ١- كل المراوح تعمل. ٢- ثلاث مراوح(٩ , م) مع مروحة (٦ , م). ٣- مروحتان (٩ , م) مع مروحة (٦ , م). ٤- مروحة (٩ , م) مع مروحة (٦ , م). ٥- فقط تعمل المروحة (٦ , م).

ويمكن من أول نظرة رؤية عدد من الملاحظات على الشكل رقم (٣, ٣). أولاً: يمكن الحصول على معدل التهوية بالنسبة لفصل الصيف بغلق الفتحات الأقل



شكل (٣,٣). مثال عن تصميم فتحة مدخل، منحنيات خصائص النظام

من ٢٠ م مع وجود فرق ضغط بسيط. ويمكن استخدام القيمة المحسوبة سابقًا - عرض من ٣٠ إلى ٤٠ م لفتحة الدخول - باستخدام المراوح في الأسلوب ١، مع أن فرق الضغط في تلك الحالة سيصبح ١٠ باسكال ومعدل التهوية ١٩ (م٣/ث) تقريبًا . ولكن قد يكون من المرغوب استخدام فتحة ذات عرض أقل. وفي الحقيقة مازال معدل التهوية حتى عند عرض ٢٠ م يعتبر أكبر من أقصى معدل تم حسابه. وقد تكون السرعة العالية المتولدة من هذا المعدل المرتفع ذات نفع، حيث يتم الحصول على خلط سريع للهواء مما يساعد على توفير معدل راحة أكبر للحيوانات .

وبغض النظر عن فتحة الدخول، فإن من خصائص الشكل البياني توضيح المشاكل المؤثرة والمتولدة عن الفترات الباردة عند تشغيل المراوح على الأسلوب ٥ .

فقد تحدث التهوية نتيجة التسرب بمعدل مؤثر، حتى ولو كانت فتحة التهوية محكمة الغلق، نظرًا لتولّد فرق ضغط داخلي أقل من ٥ باسكال. ويعتبر هذا الضغط أقل من الموصى به. ولكن قد لايحدث تسرب لو أمكن تطبيق البيانات الخاصة بالتسرب بالنسبة للمبنى "المحكم"، الذي تم إنشاؤه باستخدام الطرق الإنشائية الحديثة.

ويمكن إلقاء نظرة أخرى على نظام التهوية، وذلك باستخدام خصائص الرسوم البيانية. فيعتبر الأسلوب ٢ للتحكم كافيًا حتى لو تم غلق فتحة التهوية إلى ٢٠ أو ٣٠ م، وذلك باستثناء فصل الصيف. ويعتبر معدل التهوية مع هذا الأسلوب قريبًا للمعدل الأقصى، كما يعتبر فرق الضغط جيدًا وتكلفة التشغيل منخفضة نتيجة للتوفير في استخدام المروحة الرابعة (٩ , م).

وهناك تحذير لابد من أخذه في الاعتبار عند تطبيق طريقة أداء النظام. وفي الحقيقة يطبق هذا التحذير على أي طريقة تستخدم لتصميم مداخل الهواء. فقد كان الفرض الوحيد في الأمثلة السابقة هو أن الإعاقة لسريان الهواء تحدث فقط عند بوابة دخول الهواء. ولكن هناك إعاقات أخرى يمكن أن تحدث وخاصةً بالنسبة للبوابة المفصلية، فمثلاً قد تصبح المعادلتان رقما (١٢ , ٣) و (١٣ , ٣) غير صالحتين للاستخدام عند حدوث أي إعاقة لسريان الهواء عند قمة السطح للحائط الخارجي. ولكي نتوخى الحذر، يجب أن تكون أقرب نقطة عند سطح السريان العلوي تعادل – على الأقل – ثلاث أمثال عرض فتحة المدخل. وقد تؤدي مسافات أخرى إلى زيادة معوقات حركة الهواء، خاصة لو كان أقل عرض لسريان الهواء أقل من ضعف عرض المدخل.

وأخيرًا، نجد من المفيد أن نرى التغيّرات على معدل التهوية وفرق الضغط وذلك عند تشغيل المراوح بأساليب مختلفة وعند غلق وفتح المداخل. وتعتبر المنحنيات وخصائصها نقطة بداية جيدة لتطوير عمليات تشغيل النظام والتحكم في كل من المداخل والمراوح. فيمكن باستخدام الحواسيب الآلية الصغيرة – خاصة تلك التي لها المقدرة على رسم المنحنيات على الإحداثي (X-Y) – رسم المنحنيات الخصائصية لأساليب العمل المختلفة.

تصميم ماسورة التهوية (Ventilation Duct Design)

يعتبر الحصول على توزيع منتظم لمعدل الهواء المار بطول الماسورة المطلب الأساسي في تصميم ماسورة ذات مقطع ثابت. ونظرًا للسلوك النابع من الظواهر الطبيعية للضغط الاستاتيكي خلال ماسورة، فإنه يمكن الحصول على معدل تصرف متسق للهواء بإحدى ثلاث طرق: (أ) تغيير مساحة تصرف الهواء بطول الماسورة. (ب) تغيير درجة خشونة سطح الماسورة. (جـ) تقليل النسبة بين مساحة التصرف الفعلية ومساحة مقطع الماسورة. وتؤدي الطريقة الأخيرة إلى زيادة الضغط الاستاتيكي في الماسورة. وتعتبر الطريقة الأولى أكثرهم شيوعًا واستخدامًا من الناحية العملية. وقد تم أيضًا تطوير برنامج حاسوب آلي لإيجاد توزيع الضغط الاستاتيكي في ماسورة ذات مقطع ثابت، ومن ثم حساب تصرف الهواء بطول الماسورة.

علاقات أساسية لنافورات هواء التهوية

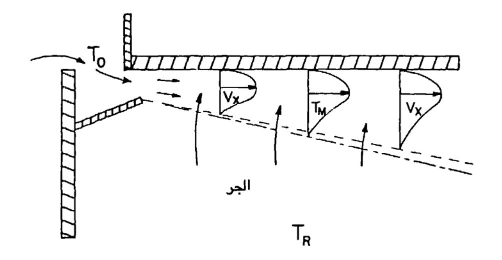
(BASIC RELATIONSHIPS FOR VENTILATION AIR JETS)

يجب على المصمم- لكي يحصل على توزيع جيد لهواء التهوية- فهم سلوك سريان نافورة الهواء، وكيفية تأثير هذا السلوك على توزيع الهواء بعيدًا عن المدخل.

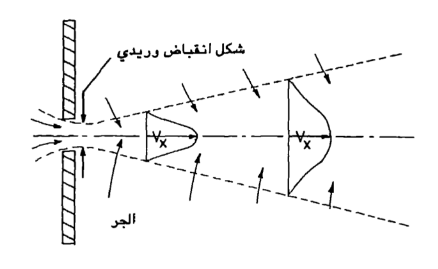
نوع النافورة (Jet Type)

يوجد نوعان من نافورات الهواء التي تستخدم في تهوية المباني الزراعية، كل منهما له خصائصه الديناميكية المختلفة. ويطلق على النوع الأول النافورة الحائطية، حيث تتولد من اندفاع الهواء من المدخل الذي يحتوي على حافة واحدة ومروره ملاصقًا إلى حائط أو سقف. ويتولد هذا النوع من النافورات مع المداخل التي من النوع الموضح في الشكل رقم (٣،١). ويوضح الشكل رقم (٣،٤) الشكل الخصائصي أو توزيع السرعات بالنسبة لنافورة الحائط.

ويطلق على النوع الثاني من النوافير التي لاتتأثر بأي حافة صلبة بالنافورة الحرة، الشكل رقم (٣،٥). ويمكن أن تصبح النافورة الحرة ملاصقة لأي حافة



شكل (٣,٤). نافورة حائط مع توزيعات السرعة ودرجات الحرارة المتولدة



شكل (٣,٥). نافورة حرة على شكل انقباض وريدي، أشكال السرعة والسحب.

صلبة على بعد معلوم من المدخل، وبذلك تأخذ خصائص نافورة الحائط.

وتتلاشى الطاقة الحركية لنافورة الهواء بدخول النافورة إلى حيّز التهوية نتيجة لسحب هواء الحجرة إلى النافورة. ويحتفظ سريان النافورة بقوة الدفع ويتزايد حجم سريان الهواء في النافورة بازدياد بُعد المسافة من المدخل. وتعّرف النسبة بين معدل سريان حجم النافورة عند مسافة معلومة من المدخل ومعدل السريان عند المدخل نفسه بنسبة السحب أو الجر. وفي الغالب تكون نسب السحب المرتفعة مرغوبة، حيث توضح عملية خلط ودوران جيدين للهواء خلال حيّز التهوية.

وتتناقص أقصى سرعة للنافورة، والتي تقاس في مستوى متعامد على اتجاه السريان مع ازدياد بُعد المسافة عن فتحة التهوية. ويعتبر الهواء ساكنًا عندما تنخفض السرعة إلى ٣,٠ (م/ ث) حيث يتم خلط هواء التهوية مع هواء الحجرة ويتحرك المخلوط بفعل تيار الحمل إلى المروحة.

نوافير الهواء ذات درجات الحرارة الثابتة والمتغيّرة

(Isothermal and Nonisothermal Jets)

يمكن تقسيم نوافير الهواء أيضًا من حيث إنها ذات درجات حرارة ثابتة أو متغيرة. وتعتبر النافورة ذات درجة حرارة ثابتة إذا كانت درجة حرارة الهواء عند المدخل في حدود ٥ °م من درجة حرارة الهواء الداخلية.

وقد لايتوافق توزيع درجات الحرارة بالنسبة للنافورة ذات درجة الحرارة المتغيرة مع توزيع السرعات؛ ويتسع الفارق كلما بعدت النافورة عن المدخل، وذلك كما في الشكل رقم (٤، ٣). ولايعتبر هذا الاختلاف من العوامل الحرجة في تصميم نظم التهوية، ولكن يجب أخذ ها في الاعتبار عند حساب تأثير البرودة - ولو بدرجة ضئيلة - على شاغلي حيّز التهوية.

مناطق النوافير (Jet Zones)

يمكن تمييز أربع مناطق رئيسية للنوافير بطول اتجاه النافورة:

منطقة رقم ١: تمتد نحو أربعة أضعاف القطر أو العرض بالنسبة لفتحات

الخروج المستطيلة، وتبقى السرعة في هذه المنطقة تقريبًا ثابتة.

منطقة رقم ٢ : تعتبر منطقة تحوّل تمتد إلى نحو ثمانية أضعاف القطر بالنسبة للفتحات الدائرية والفتحات المستطيلة ذات نسب التشكل المنخفضة من (الطول / العرض). وتمتد هذه المنطقة بالنسبة للفتحات المستطيلة ذات النسب المرتفعة إلى مسافة تساوي تقريبًا العرض مضروبًا في أربع مرات نسبة التشكل. وتتغير أقصى سرعة في هذه المنطقة تغيرًا عكسيًا مع الجذر التربيعي للمسافة من المدخل.

منطقة رقم ٣: وتسمى منطقة السريان المضطرب وفيها تتغير أقصى سرعة عكسيًا مع بُعد المسافة عن المدخل.

منطقة رقم ٤ : منطقة حرارية تتناقص عندها أقصى سرعة تناقصًا حادًا إلى المدى المنخفض للهواء خلال مسافة تعادل عدة أقطار المروحة.

علاقات نظرية لنوافير الهواء (Theoretical Relationships for Jets)

نوافير حرة مستديرة (Round Free Jets) . يمكن تقريب توزيع السرعة بالنسبة للنافورة الحرة المستديرة باستخدام علاقة التوزيع الطبيعي[١٣] التالية :

$$V/Vx = e^{-\alpha r^2} \qquad (٣ , ١٨)$$

حيث :

α : ثابت بالنسبة لتوزيع محدد

V : تمثل السرعة عند مسافة (r) من مركز النافورة

Vx: السرعة المتبقية.

ويلاحظ أنه لا يمكن تمييز أشكال توزيع السرعات عن بعضها البعض عند الرسم في أشكال نسبية على مسافات متغيرة. ونظرًا لتماثل أشكال توزيع السرعات، فإن قوة دفع النافورة تكون كالتالي :

$$M_{mx} = 2\pi(\rho) \int_0^{\infty} r(v)^2 dr \qquad (٣ , ١٩)$$

وينتج بتجميع المعادلتين رقمي (١٨ , ٣) و(١٩ , ٣) وإجراء التكامل ما يأتي :

$$M_{mx} = \pi(\rho)(V_x)^2/2\alpha \qquad (٣ , ٢٠)$$

وتكون قوة الدفع عند الفتحة :

$$M_m = \rho(A_a)(V_i)^2 \qquad (٣ , ٢١)$$

وينتج بمساواة المعادلتين رقمي (٢٠ , ٣) و(٢١ , ٣) مع فرض الاحتفاظ بقوة الدفع في حالة النافورة الحرة ذات درجة الحرارة الثابتة :

$$V_x / V_i = [2\ \alpha\ \ A_a / \pi]^{0.5} \qquad (٣ , ٢٢)$$

ونظرًا لتماثل أشكال السرعة ، فإن :

$$r_{0.5} = X \tan \theta \qquad (٣ , ٢٣)$$

وتكون ($r_{0.5}$) المسافة من مركز النافورة إلى حيث $V = Vx /2(A)$ ، وتمثل تلك النقطة توزيع السرعة :

$$V/Vx = 1/2 = e^{-B} \qquad (٣ , ٢٤)$$

حيث :

B : $-\alpha(r_{0.5})^2$

و ينتج التعبير التالي للسرعة المتبقية (Vx) عند تعويض المعادلة رقم (٢٣ , ٣) في المعادلة رقم (١٨ , ٣) وإيجاد (α) باستخدام التعبير في المعادلة رقم (٢٤ , ٣) مع قيمة لـ (θ) مقدارها خمس درجات[١٣] :

$$V_x/V_i = 7.6\ (A_a)^{0.5}/X = K\ (A_a)^{0.5}/X \qquad (٣ , ٢٥)$$

ويعتمد هذا الاستنتاج على السريان غير اللزج ، وعلى الثابت (K) الذي وجد بالتجربة أنه ينحرف قليلاً عن القيمة النظرية (٦ , ٧) .

ويمكن إيجاد السريان الحجمي الكلي للهواء عند عدة مواضع لسريان النافورة باستخدام المعادلة التالية :

$$Q_x = 2\pi \int_0^{\infty} r(V)\, dr \qquad (٣ , ٢٦)$$

وبما أنه يمكن الحصول على السريان الكلي للهواء عند المدخل من :

$$Q_a = A_a(V_i) \qquad (٣ , ٢٧)$$

وعلى ذلك تكون نسبة السحب :

$$Q_x/Q_a = 2(V_i)/V_x \qquad (٣ , ٢٨)$$

نافورة حرة متولدة من فتحة طويلة

(Free Jet Issuing From a Long Slot)

يمكن استعمال التعبير التالي لتوزيع السرعة عند استخدام نفس التحليل السابق بالنسبة لنافورة متولدة من فتحة طويلة ذات عرض (W) :

$$Vx /Vi = 2.76 (W/X)^{0.5} \qquad (٣ , ٢٩)$$

وتكون نسبة السحب :

$$Q_x/Q_a = (2V_i)^{0.5}/V_x \qquad (٣ , ٣٠)$$

نوافيرحرة (Free Jets)

السرعة المتبقية - قذفة وسحب

(Residual Velocity, Throw and Entrainment)

يمكن تحديد السرعة المتبقية (Vx) عند مسافة (x) بالأمتار بالنسبة للمناطق الثانية والثالثة من المداخل الدائرية والمربعة أوالمستطيلة ، حيث قلب السريان يتكون في شكل دائرة أو في شكل بيضاوي على الترتيب كالآتي :

$$Vx = Vi\ (K(Ai)/X)^{0.5} \qquad (٣ , ٣١)$$

$$Vx = Vi\ K(Cd\ Aa)^{0.5}/X \qquad (٣ , ٣٢)$$

حيث :

A_a : مساحة المدخل ، م٢

K: ثابت، يستنتج بالتجارب.

وتعتبر المعادلة رقم (٣,٣٢) مشابهةً للمعادلة رقم (٣,٢٥) باستثناء الفرق في الشكل. وتتراوح قيم K من ٥,٧ بالنسبة للمداخل المستديرة والمربعة إلى ٤,٩ بالنسبة للمداخل المستطيلة ذات نسب التشكل الكبيرة[٥]، وذلك عند سرعات للمدخل من ٢,٥ إلى ٥,١ (م/ث). ويمكن اعتبار نسب التشكل الأكبر من $166/K^2$ كبيرة. وتتماثل امتدادات مسافة المنطقة ٢ إلى الخارج من المدخل بالنسبة لكل من المداخل المربعة والمستديرة، ولكن تتزايد بزيادة نسبة التشكل بالنسبة للمداخل المستطيلة. وتمتد منطقة ٢ من نحو أربع إلى ثمان مرات القطر بالنسبة للمخارج المستديرة والمربعة والمستطيلة، وذلك عند نسب تشكل منخفضة. وتمتد منطقة ٢ - بالنسبة للمخارج المستطيلة ذات نسب تشكل كبيرة - من ٤ مرات العرض إلى مسافة تعادل تقريبًا حاصل ضرب ٤ مرات العرض في نسبة التشكل.

ويمكن تحديد السرعة عند المداخل المستديرة والمربعة أوالمستطيلة كالآتي:

$$V_i = Q_a/(A_a\ C_d) \qquad (٣,٣٣)$$

ويتم حساب السرعة باستخدام المعادلة رقم (٣,٢٩) بالنسبة للنوافير المتولّدة من فتحات طويلة حيث لا يشكل سريان الهواء في قلب النافورة أيًا من الشكلين الدائري أو البيضاوي. ويمكن الحصول على نسب السحب في منطقة ٣ بالنسبة للنوافير الدائرية والمداخل الطويلة باستخدام المعادلتين رقمي (٣,٢٨) و(٣,٣٠) على الترتيب. وتوضح كل من معادلتي السحب بالنسبة لمعدل سريان معلوم، أن نسبة السحب عند مسافة معلومة من المدخل تتزايد مع السرعة عند المدخل. وتساعد السرعات العالية على الخلط السريع لهواء النافورة مع هواء الحجرة.

وتعرف قذفة النافورة على أنها المسافة (X) التي تتحركها النافورة من المدخل بعد تكونها وقبل أن تصل إلى سرعتها الثابتة. ويمكن إيجاد هذه المسافة باستخدام المعادلات الخاصة بالسرعة المتبقية.

وتتراوح زوايا انحراف النوافير الحرة عند دخول حيّز كبير من ٢٠ إلى ٢٤ °م. ويلاحظ أن دخول هواء بارد إلى حيز دافئ يؤدي إلى حدوث انخفاض في السرعة، وذلك نتيجة لزيادة الكثافة، ولكن يمكن إهمال هذه الظاهرة في معظم الحالات عند

استخدام سرعات متوسطة للهواء عند المدخل.

مثال رقم ٣: هواء تهوية يخرج من فتحة قطرها ٠٦٤ , (م) إلى ماسورة تهوية بمعدل ٠٠٩٤ , (م^٣/ث). احسب السرعة المتبقية ونسبة السحب عند مسافة ٣ (م) من المدخل؟ احسب أيضًا مسافة القذفة بالنسبة لسرعة متبقية مقدارها ٣, (م/ث) (هواء ساكن)، وذلك بفرض معامل تصرف ٧ , ٠ ؟

الحل.

$$Vi = 0.0094/(\pi \times 0.064^2/4)0.7 = 4.17 \text{ m/s} \qquad (٣,٣٤)$$

وحيث أن المدخل مستدير و K = ٧ , ٥، إذن

$$V_X = (4.17)(5.7)[(0.7)(\pi \times 0.064^2/4)]^{0.5}/3 = 0.38 \text{ m/s} \qquad (٣,٣٥)$$

$$Q_X/Q_a = (4.17)(2)/0.38 = 22 \qquad (٣,٣٦)$$

$$X = (4.17)\ (5.7)[0.0023]^{0.5}/0.3 = 3.8 \text{ m} \qquad (٣,٣٧)$$

نوافير حائطية (Wall Jets)

السرعة المتبقية، قذفة وسحب

(Residual Velocity, Throw and Entrainment)

يحدث السحب بالنسبة لنافورة حائط فقط من المدخل بطول السطح الحر المتعرض للنافورة. ويمكن استخدام المعادلتين رقمي (٣١ , ٣) و(٣٢ , ٣) لإيجاد السرعة المتبقية لنافورة حائط مع نسبة تشكل أقل من ٤٠، وذلك بطول أسطح ناعمة مع قيمة K مضروبة في ٤١٤ , ١[٥]. ويمكن تطبيق المعادلة رقم (٣٠ , ٣) لإيجاد نسبة السحب على نافورة الحائط. وهناك معادلة تجريبية يوصي باستخدامها بالنسبة للسرعة المتبقية لنوافير الحائط والمتولدة من فتحات طويلة حيث السريان البعيد عن المخرج لايكون شكل قلب بيضاوي أودائري[١٤]:

$$V_x = K^1\ Va\ [W/x]^{0.5} \quad (٣ , ٣٨)$$

حيث :

$$K^1 = 3.58 - 0.104\ \Delta T \quad (٣ , ٣٩)$$

ΔT = (درجة حرارة هواء الغرفة - درجة حرارة هواء النافورة)، ْم (٣ , ٤٠)

تأثير حدود الإنشاء (Effect of Boundary Construction)

تعتبر معظم الأسطح التي تمر فوقها نوافير حائطية من فتحات طويلة أسطح غير ناعمة. ويمكن إيجاد قيم ثوابت المعادلات التالية بالنسبة لأنواع مختلفة من أسقف الإنشاءات. ويوضح الجدول رقم (١ , ٣) تلك القيم.

$$Vx/Va = K\ [W/x]^{0.5} \quad (٣ , ٤١)$$

$$Q_x/Q_a = C\ [Va\ /Vx] \quad (٣ , ٤٢)$$

تأثيرات درجات الحرارة (Temperature Effects)

تعتبر النوافير الحائطية ذات درجات الحرارة المتغيّرة شائعة الحدوث في التهوية الزراعية. ويفترض وجود تأثيرات طفيفة - وإن كانت معنوية - في الهواء البارد المار على النوافير الحائطية[١٤]. ويعتبر ذلك حقيقيًا وخاصةً عند سرعات دخول للهواء أكبر من ٢ , ٤ (م/ ث). ويعتبر مدى توزيع درجات الحرارة بالنسبة لنوافير الحائط عند مسافات محددة من المدخل أكبر من توزيع السرعة، مثله مثل النوافير الحرة.

وتزداد نسبة سحب الهواء الجوي في نافورة الحائط الباردة نتيجة استخدام سرعة هواء مرتفعة عند المدخل[١٦]. وقد يؤدي ذلك إلى تكثيف النافورة وانخفاضها بمعدل سريع، وبالتالي تقليل احتمال إصابة شاغلي حيّز التهوية بالبرودة. وهناك معادلة تستخدم للتنبؤ بأقل درجة حرارة لنافورة حائط عند مسافة X من المدخل[١٦] :

$$T_m = (T_o - T_r)\ 0.587\ (Re_i^{\ 0.224})\ (X / W)^{-0.6} + T_r \quad (٣ , ٤٣)$$

جدول (٣،١). السرعة المتبقية وثوابت السحب بالنسبة لنوافير حائطية تمر فوق أسقف غير ناعمة.

نوع السقف	K	C
ذو شقوق ١،٩ × ٢،٣ سم	٢،٧٣	١،٩٢
ذو شقوق ١ × ٢،٣ سم	٣،٦٥	١،٨٧
تعاريج ٢،٣ سم، موازي للسريان	٣،٦٠	١،٤٣
تعاريج ٢،٣ سم، متعامد على السريان	٣،١٠	١،٤٣
تعاريج ٤،٦ سم، موازي للسريان	٣،٨٠	٢،٠٥
تعاريج ٤،٦ سم، متعامد على السريان	٢،٦٧	٠،٩٠

$$R_{ei} = w\ (Vi)/\delta \qquad (٣،٤٤)$$

حيث:

T_o= درجة حرارة الهواء عند المدخل، °م

T_r = درجة حرارة الغرفة، °م

δ = لزوجة الهواء عند ظروف المدخل، م²/ث

وتعمل نافورة الحائط الباردة على تقليل الحرارة المفقودة من خلال الحائط، وذلك عند مقارنتها بحركة الهواء الطبيعية[١٦]. ويرجع السبب في ذلك إلى انخفاض درجة حرارة سطح الحائط الداخلي بواسطة النافورة الباردة. وتعتبر السرعات المنخفضة في تلك الحالات سرعات مرتفعة. ويعرف معامل النقل الحراري الموضعي

بالنسبة لنافورة حائط ذات سرعة منخفضة كالآتي :

$$h_x = 1.114(K/X)Re_i^{0.569} (X/w)^{0.35} \quad (٣ , ٤٥)$$

حيث :

h_x : معامل النقل الحراري الموضعي، واط/ (م٢ .°م)

K : معامل التوصيل الحرارى للهواء، واط/ (م٢ .°م).

مثال رقم ٤ : احسب السرعة المتبقية وأقل درجة حرارة في نافورة على بعد ١ , ٢ م أسفل الحائط من المدخل، وذلك باستعمال المعلومات في المثال رقم ١ . افترض أن درجة حرارة الغرفة ٢٠ °م ودرجة حرارة الهواء عند المدخل صفر°م .

الحل .

$$V_x = [3.58 - 0.104(20)](4.1)[0.036/2.1]^{0.5} = 0.8 \text{ m/s} \quad (٣ , ٤٦)$$

$$T_m = (-20)(0.587)[(4.1)(0.036)/0.000012]^{0.224} (2.1/0.036)^{-0.6} + 20 \quad (٣ , ٤٧)$$

$$T_m = 11.6\,°C \quad (٣ , ٤٨)$$

توزيع هواء التهوية

(VENTILATION AIR DISTRIBUTION)

عناصر قياس كفاءة توزيع الهواء

(Parameters Measuring Air Distribution Effectiveness)

عملية الخلط (Mixing) . تحدد كفاءة توزيع الهواء بعملية الخلط الجيد للهواء الداخل إلى حيز التهوية مع الهواء الجوي قبل خروجه من الحيز . ومن الناحية النظرية يجب أن تتم عملية الخلط وخاصةً في الشتاء خارج الحيّز المشغول سواء بالنسبة للحيوانات أو النباتات . ومن الناحية العملية يجب أيضًا أن تكون الخواص

الطبيعية للهواء الخارج غير مميزة عن الهواء داخل الحيز. وتتضمن الخواص الطبيعية كلاً من: درجة الحرارة والرطوبة وتركيز الأتربة وتراكيز الغازات.

سرعة الهواء المتوسطة (Mean Air Velocity). تعتبر سرعات الهواء العالية نسبيًا مطلوبة عند مستوى الحيوان، وذلك لتساعد على سرعة التخلص من الحرارة المحسوسة خاصة أثناء التهوية في الأجواء الحارة. ويجب في حالة شغل الحيوانات لنسبة صغيرة فقط من حجم المبنى أن يتم توجيه هواء التهوية تحت هذه الظروف إلى الحيوانات مباشرةً حتى يتم الحصول على أقصى استفادة.

اتساق سرعات الهواء المتوسطة (Uniformity of mean air Velocities). يمكن حساب التغيرات التي تحدث لسرعة الهواء داخل المبنى بعدة طرق. وتستخدم إحدى هذه الطرق عن طريق حساب معامل التغير لمتوسط السرعات. وتعتبر القيم المنخفضة لهذا المعامل دليلاً على أن هناك توزيعًا جيداً للهواء بعكس القيم المرتفعة.

اتساق درجة الحرارة (Air Temperature Uniformity). يمكن اعتبار توزيع درجات الحرارة على نسق واحد في كل من الاتجاهين الرأسي والأفقي أحد عناصر إيجاد كفاءة توزيع الهواء. وقد يزيد تطابق درجات الحرارة داخل المنشأة الزراعية في الأجواء الباردة من معدل الفقد الحراري من خلال سقف أو سطح المبنى. و يعني وجود بقع هوائية سواء كانت باردةً أم حارةً في المبنى عدم اتساق توزيع درجات الحرارة.

عوامل مؤثرة في توزيع الهواء (Factors in Air Distribution)

هناك عدة عوامل تؤثر على توزيع الهواء. وقد يكون تأثير هذه العوامل في مجمعات متغيرة وعلى درجات متفاوتة. وعلى ذلك يعتبر إلمام وفهم تأثير هذه العوامل مهمًا في التصميم، ومن ثم في إدارة نظم التهوية.

موضع المدخل (Inlet Placement). أوضحت الأبحاث التي أجريت في وحدة مغلقة لماشية اللحم بعرض ١٢,٢١ (م) مع توزيع للمراوح على حوائط المبنى الجانبية أن الفضل الكبير في زيادة كفاءة توزيع الهواء داخل المبنى يرجع لوجود

مدخل مركزي في وسط سقف المبنى مع وجود حاجز لتوزيع الهواء[١٧]. وقد تم الحصول على أفضل أداء عندما تم دفع ثلاثة أرباع الهواء من فتحة أفقية مثبتة بالقرب من سقف المبنى، أما ربع الهواء المتبقي فقد تم دفعه إلى أسفل بجانب الحوائط[١٨]. وقد تولّد ثاني أفضل أداء عندما تم دفع كل الهواء إلى أسفل بجانب الحوائط بسرعة دخول للهواء ٥,٧ (م/ث).

وقد أوضحت اختبارات أجريت على نموذج مُعدّل أن المداخل ذات الأسطح المثقبة على حائطي الجوانب قد نتج عنها تحسن في توزيع هواء التهوية عن المتحصل منه فيما لو كان المدخل ذو الأسطح المثقبة يقع فقط على الحائط المقابل للمراوح[١٩].

التسرب (Infiltration) . إن معظم – إن لم يكن كل – هواء التهوية يجب أن يمر من خلال المداخل حتى يتم الحصول على نتائج مرضية. ويجب تقليل تسرب الهواء خاصةً في نظم الضغط السالبة إلى أقصى حد ممكن. وقد تؤدي عمليات التسريب لكميات كبيرةً نسبيًا من الهواء إلى داخل المبنى من خلال الشقوق والفتحات في المباني إلى افتقار في الحصول على التوزيع الجيد للهواء. ويمكن أن تتولّد أيضًا نفس النتائج السابقة إذا ترك باب المنشأة مثلاً مفتوحًا.

موضع مروحة الطرد (Exhaust Fan Placement) . يجب تركيب المراوح حيثما أمكن ذلك على الجانب غير المقابل لاتجاه الرياح الشتوية، وذلك لتقليل تأثير الهواء الخارجي على أداء المروحة. وقد وجد أن عملية تجميع المراوح على أبعاد منتظمة على أحد الحوائط الجانبية، والمداخل ذات الأسطح المثقبة على الحائط الجانبي المقابل قد نتج عنه توزيع ممتاز لهواء التهوية[١٩]. ويجب أن لاتزيد المسافة بين كل مروحة والمروحة المجاورة لها عن ٤٥ متراً أو عن ضعف عرض المبنى.

سرعة الهواء عند المدخل (Inlet Air Velocity). أوضحت إحدى الدراسات التي أجريت على نموذج لمدخل ذي سطح مثقب أن زيادة سرعة الهواء عند المدخل تؤدي إلى زيادة السرعة المتوسطة عند مستوى الطيور. وقد أدى ذلك أيضًا إلى تقلص مساحة الأرضية الشاملة والمعرضة لسرعات تهوية مثلى. وقد وجد أيضًا تزايد حركة الهواء الثانوية مع زيادة سرعة دخول الهواء.

دائرة الهواء المختصرة (Shortcircuiting) . تصف دائرة الهواء

المختصرة الوضع الناشيء من وجود مداخل الهواء بالقرب من مراوح الطرد ، حيث يتم سحب هواء التهوية إلى خارج المبنى بدون الحصول على الفائدة الكاملة المرجوة من عملية التهوية . ويمكن تقليل تأثير دائرة الهواء المختصرة بتركيب المراوح على أبعاد لاتقل عن مترين ونصف من مداخل الهواء .

مراوح التقليب (Circulation Fans). تعني معدلات التهوية المنخفضة المطلوبة في فصل الشتاء إما أن يتم تشغيل المراوح لفترات نسبية قليلة أو استخدام مراوح ذات سعات منخفضة تعمل طول الوقت . وقد تحدث في أي من الحالتين حركة بطيئة للهواء ، كما قد ينتج أيضًا انحدار في توزيع درجات الحرارة . ويمكن تقليل هذه المشكلة باستخدام مروحة أو مراوح التقليب .

الأرضيات المثقبة (Slotted Floors). هناك تأثير مؤكد للأرضيات المثقبة على عملية توزيع الهواء . وقد وجد أن عملية توزيع الهواء في أحد نماذج مباني الإنتاج الحيواني تعتمد بالإضافة لعوامل أخرى على المسافة بين الأرضية المثقبة وسطح المخلفات الموجود أسفل الأرضية[٢٢] . وقد نتج عن هذا النوع من نظم التهوية رفع للروائح الكريهة – بالإضافة إلى الغازات السامة – من مكان المخلفات إلى بيئة الحيوان . ويمكن حل هذه المشكلة بعمل تهوية منفصلة لمكان تجمع الفضلات الحيوانية تحت سطح الأرضية .

قياس هواء الأرضية

(AIR FLOOR MEASUREMENT)

قياس نوعي (Qualitative)

استشفاف الأدخنة (Smoke Tracers) . تعتبر أجهزة استشفاف الأدخنة مؤثرة وفعّالة في معرفة أشكال سريان الهواء في حيّز التهوية . وقد وجد أنه من السهل استخدام هذه الأجهزة ، كما أنها متوافرة تجاريًا . ويمكن أيضًا استخدام مدخّنات النحل لإيجاد أشكال السريان في أماكن موضعية .

التكثيف (Condensation) . تعتبر عملية تكثيف الماء على أسطح المبنى

الداخلية في الجو البارد من العوامل التي تدل على افتقار التوزيع الجيد لهواء التهوية. ويؤدي خروج هواء التهوية بدون عملية خلط جيد إلى ارتفاع درجة حرارة نقطة الندى للهواء الداخلي، مما يؤدي إلى زيادة احتمال حدوث التكثيف على الأسطح الباردة. ويزيد من احتمال حدوث التكثيف بالطبع عدم استخدام مواد عازلة كافية بالنسبة للحوائط والأسقف والأساسيات والأرضيات.

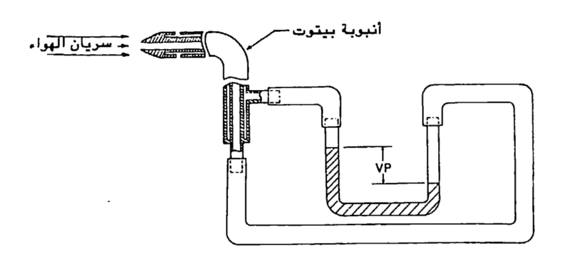
سلوك الحيوانات (Animal Behavior). تبحث الحيوانات الحرة الطليقة داخل المبنى دائمًا على أكثر المناطق المريحة حراريًا. وفي الغالب تحاول الحيوانات في الجو الحار التجمع في المساحات ذات سرعات الهواء العالية. ومن الناحية الأخرى تحاول الحيوانات أن تتجنب هواء التهوية البارد في الظروف الجوية الباردة. أما إذا تعذر على الحيوانات تجنب الظروف الجوية غير الملاءمة، فإنها قد تلجأ إلى استخدام ميكانيكية التعويض بزيادة أو تقليل الفقد الحراري من الجسم. ويجب على المربي الماهر أن يتنبه إلى سلوك الحيوانات ومحاولة معرفة السبب في ذلك مع أخذ العديد من الخطوات لتجنبه.

تراكم الأتربة وخيوط العنكبوت (Dust and Cobweb Accumulation). يعتبر تراكم الأتربة وخيوط العنكبوت دليلاً على قلة أو عدم وجود أي حركة للهواء داخل المبنى.

قياس كمي (Quantitative)

تعرف سرعة الهواء بالكمية والاتجاه. ويمكن قياس تلك السرعة باستخدام العديد من أجهزة القياس. ومعظم هذه الأجهزة ذات طابع اتجاهي، بحيث يجب توجيه الجهاز بعناية بالنسبة لاتجاه سريان الهواء، وذلك للحصول على أقصى قراءة.

أنبوبة "بيتوت"\المضغاط (Pitot Tube/Manometer). يوضح الشكل رقم (٦, ٣) كل من أنبوبة "بيتوت" والمضغاط أو أداة قياس ضغط الغازات والأبخرة. يتم ضبط وضع الأنبوبة في اتجاه سريان الهواء، فيتحول اصطدام الهواء داخل الأنبوبة إلى ضغط هوائي كلي، وذلك من خلال مركز الأنبوبة إلى أحد



شكل (٣,٦). أنبوبة بيتوت والمانومتر الأنبوبي

أطراف المضغاط . وتعمل الفتحات الموجودة على الأنبوب الحلقي الخارجي على تحويل الضغط الاستاتيكي إلى الطرف الآخر للمضغاط . ويعبر عن الفرق بين الضغطين بضغط السرعة الذي من خلاله يمكن معرفة سرعة الهواء باستخدام بعض العلاقات .

$$V(P_V) = \rho(V)^2/2 \qquad (٣,٤٩)$$

حيث P_V ضغط السرعة، مم ويحسب عن طريق:

$$P_V = 0.051\,\rho(V)^2 \qquad (٣,٥٠)$$

ويمكن حساب السرعة بالنسبة للهواء القياسي ($\rho = 1.2\ kg/m^3$) كدالة في (P_V) كالتالي:

$$V = 4.04(P_v)^{0.5} \qquad (٣,٥١)$$

ويمكن أن تحس أنبوبة " بيتوت " بدقة حتى سرعات متدنية جداً . ولكن عادة ما يكون المضغاط غير حساس بدرجة كافية لقياس سرعات أقل من ٢ (م/ ث) .

المضغاط الدوّار (Vane Anemometer) . يمكن استخدام المضغاط الدوّار من نوع ريشة الطاحونة الهوائية بسهولة لحساب سرعة الهواء. ويتم الحصول على السرعة المتوسطة عن طريق قسمة عدد لفات الريشة مع حركة الهواء الخطية على الوقت المنصرم. ويعتبر هذا الجهاز ذا دقة كافيةً بالنسبة للسرعات ١ (م/ ث) أو أكبر. ويجب ضبط الجهاز في اتجاه سريان الهواء مع أخذ قراءتين أو أكثر للتأكد من الحصول على قيمة متوسطة دقيقة.

ووحدة الإحساس عبارة عن سلك ذي مقاومة تسخين كهربائية وله درجة حرارة تعتمد على التيار وعلى معدل الفقد الحراري بالحمل. ويتوقف معدل الفقد الحراري على كل من درجة حرارة وسرعة الهواء، وبالطبع على طريقة وضع السلك في اتجاه سريان الهواء.

وهناك نوعان من أجهزة المضغاط الشائعا الاستخدام . فيوجد النوع ذو درجة الحرارة الثابتة حيث يحافظ السلك المسخن على درجة حرارة ثابتة بعملية تحكم آلي لسريان التيار عند تغير سرعة الهواء؛ أي يمكن ربط سرعة الهواء بسريان التيار. وتتغير درجة الحرارة بالنسبة للنوع ذي التيار الثابت بتغير سرعة الهواء. ويمكن ربط نواتج التغيرات في مقاومة السلك إلى وحدات السرعة.

ويعتبر تراكم الأتربة على السلك المسخن أهم أنواع القصور بالنسبة لدقة الجهاز. وينصح بتنظيف السلك على فترات منتظمة خاصةً إذا كان من الضروري استخدامه تحت ظروف تراكيز مرتفعة من الأتربة والقاذورات.

المراجع

1. MWPS. 1980. Structures and environment handbook. Midwest Plan Svc., Iowa State Univ., Ames, IA.

2. Albright, L. D. 1976. Air flow through hinged baffle slotted inlets. TRANSACTIONS of the ASAE 19(4):728-732, 735.

3. Albright, L. D. 1978. Air flow through baffled, center-ceiling slotted inlets. TRANSACTIONS of the ASAE 21(5):944-947, 952.

4. Smith, M. R. and T. E. Hazen. 1966. Similitude study of ventilation inlet configuration. ASAE Paper No. 66-95, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

5. ASHRAE. 1981. Handbook of Fundamentals. Am. Soc. of Htg. Refrig. and Air Cond. Engrs. New York. 688 pp.

6. Walton, H. V. and D. C. Sprague. 1951. Air flow through inlets used in animal shelter ventilation. AGRICULTURAL ENGINEERING 32(4):203-205.

7. ASAE. 1981. AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK. ASAE, St. Joseph, MI 49085.

8. ASHRAE. 1979. Handbook: Equipment. Am. Soc. Htg. Refrig. and Air Cond. Engrs. New York.

9. Schaper, L. A., H. Cloud and D. Lundstrom. 1976. An engineering evaluation of potato storage ventilation system performance. TRANSACTIONS of the ASAE 19(3):584-590.

10. Cloud, H. and R. V. Morey. 1977. Distribution duct performance for thorough ventilation of stored potatoes. ASAE Paper No. 77-4063, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

11. Nottage, H. B., J. G. Slaby and W. P. Godsza. 1952. Exploration of a chilled jet. Trans. ASHVE. 57:357-376.

12. Wilson, J. D., M. L. Esmay and S. Persson. 1970. Wall-jet velocity and temperature profiles resulting from a ventilation inlet. TRANSACTIONS of the ASAE 13(1):77-81.

13. Walker, J. N. 1977. Review of the theoretical relationships of isothermal ventilating air jets. TRANSACTIONS of the ASAE 20(3):517-522.

14. Black, T. C., J. N. Walker and G. M. White. 1970. Plane non-isothermal air jets discharging along a smooth ceiling. TRANSACTIONS of the ASAE 13(6):774-778.

15. Walker, J. N., and G. M. White. 1973. Influence of ceiling surface irregularities of air jets. TRANSACTIONS of the ASAE 16(1):145-147.

16. Albright, L. D. and N. R. Scott. 1974. The low speed nonisothermal wall jet with applications to ventilation. J. Agric. Engr. Res. 19(1):25-34.

17. Hellickson, M. A., H. G. Young and W. G. Witmer. 1973. Baffled center ceiling ventilation inlet. TRANSACTIONS of the ASAE 16(4):758-760.

18. Turnbull, J. E. and J. A. Coates. 1971. Temperature in air-flow patterns in a controlled environment cage poultry building. TRANSACTIONS of the ASAE 14(1):109-113, 120.

19. Wilson, J. D. and R. G. Bishop. 1974. A model study of alternative ventilation systems for a broiler house. TRANSACTIONS of the ASAE 17(1):99-101.

20. Esmay, M. L. and H. Lileng. 1970. Summary of temperature and velocity distribution of slot-inleted ventilation air in cage-type laying houses. Paper presented at the World Poultry Congress, Spain, Sept. 1970.

21. King, F. C., G. M. White and J. N. Walker. 1972. The effect of surface obstructions on air wall jets. TRANSACTIONS of the ASAE 15(2):361-365.

22. Schulte, D. D., J. A. DeShazer and C. N. Ifeadi. 1972. Effect of slotted floors on air-flow characteristics in a model swine confinement building. TRANSACTIONS of the ASAE 15(5):947-950.

23. Griffin, J. G. and T. H. Vardaman. 1972. Summer ventilation rate: effects on environment and broiler performances in windowless housing in the South. TRANSACTIONS of the ASAE 15(3):548-551.

الفصل الرابع

وسائل وأجهزة التحكم في التهوية*
(VENTILATION AND EQUIPMENT CONTROLS)

• المراوح • المحركات الكهربائية • أجهزة التحكم في معدلات التهوية • أجهزة حس الرطوبة • أجهزة التوقيت • محركات المصاريع والمُضاءلات • منطقية التحكم • أجهزة تحكم ذات سرعات متغيرة • المُرحِّلات • تغيير التردد إزاء التحكم على مراحل • نظم التدفئة • تنقية الهواء

تعتمد كفاءة عملية التهوية سواء بالنسبة لمباني الإنتاج الحيواني أو النباتي على اختيار وتركيب واستخدام التجهيزات الملائمة للتحكم في الهواء. فيمكن استخدام المراوح والفتحات الخاصة بمداخل أو مخارج الهواء وأجهزة التحكم والدفايات والمبرّدات وأجهزة التنقية للحصول على معدل التهوية المطلوب. ويمكن أيضًا تكييف الهواء وتغيير تركيب الهواء أو حتى التأثير على حركة الهواء داخل المساحة المخصصة للتهوية. وسوف نستعرض في فصول قادمة طرق وتجهيزات نظم مختلفة لاختيار حجم الأجهزة الملائمة سواء لتهوية النّبات أو الحيوان. ولكن يوجد لدى كل وحدة سواء كانت جهازًا أو وحدة تحكم خصائص تشغيل أساسية خاصة، بحيث تؤثر على أداء وتشغيل تلك الوحدة، ولا تعتمد على نظام التشغيل الكلي. ويتناول هذا الفصل فهمًا لخصائص كل وحدة من الوحدات السالفة الذكر من حيث الأداء وتأثير طرق التشغيل على كفاءة كل جهاز نظرًا لأهمية فهم تلك الخصائص والمميزات. ويتناول هذا الفصل بالتحديد المعلومات الخاصة بكل من المراوح وأجهزة التحكم

---

* جورج ل. برات : جامعة ولاية داكوتا الشمالية - فارجو
جون منتزر : لانسينج - ميشجان
لويس د. أولبريت : جامعة كورنيل - آثاكا
ديوين س. باندي : جامعة ولاية أيوا - ايمس

والمحركات الكهربائية والحواجز الهوائية والدفايات وأجهزة التنقية.

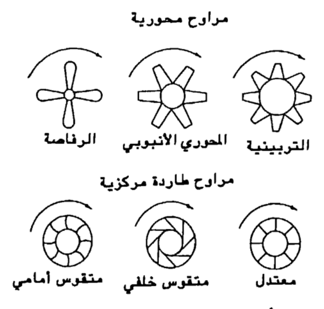
المراوح
(FANS)

تعتبر المراوح الجزء الأساسي في أي عملية تهوية. ويوجد للمراوح وظيفتان أساسيتان هما: (أ) إحداث فرق ضغط للهواء، (ب) دفع أو سريان الهواء. ويتم التركيز على أحد السببين السابقين دون الآخر اعتماداً على نوع التطبيق. فيعتبر الحصول على معدل سريان للهواء مع وجود فرق ضغط بسيط هو الهدف الرئيسي في تهوية المباني الزراعية سواء للإنتاج الحيواني أو النباتي. في حين يعتبر إحداث فرق ضغط كبير نسبيًا عبر المروحة مع التضحية بجزء من سعة المروحة هو الهدف الرئيسي في عمليات التهوية الخاصة بتخزين المحاصيل الزراعية (حبوب وخضروات وفاكهة وغيره). وقد تم بناءً على ذلك تطوير نوعين من المراوح للإيفاء بتلك الأغراض وهما على الترتيب: المراوح المحورية ومراوح الطرد المركزي.

ويجب التنبيه إلى أن مصطلح كلمة "مروحة" ليس له تعريف دقيق ومقبول. فتعتبر المروحة بالنسبة لمصممي نظم التهوية الصناعية الريشة التي تحرك الهواء - بطول مرتكزاتها المصاحبة وتحميلاتها وأغطيتها وغيره. ولكن من الأرجح أن يتضمن تعريف المروحة بالنسبة للمجال الزراعي كلاً من المحرك الكهربائي والحواجز الهوائية والغطاء المقاوم للعوامل الجوية المختلفة. وقد يسبب هذا الفرق في التعريف نوع من الإرباك لمشتري المراوح.

أنواع المراوح (Fan Types)

تختلف المراوح المحورية عن المراوح الطاردة المركزية بالنسبة لاتجاه خروج الهواء من ريشة المروحة. فيترك الهواء المروحة المحورية في اتجاه مواز لاتجاه العمود المركب عليه ريش المروحة، بينما تقوم المراوح الطاردة المركزية بسحب الهواء إلى مركز المروحة، ثم دفعه بقوة الطرد المركزي إلى الخارج في اتجاه قطر المروحة من خلال المخرج. ويوضح الشكل رقم (١ , ٤) الأنواع العديدة للمراوح.



شكل (١,٤). أنواع المراوح الشائعة الاستخدام في تطبيقات التهوية

مراوح سريان محوري (Axial Flow Fans) . تُقسم المراوح المحورية بالنسبة لعدد وأشكال الريش إلى كل من مراوح رفاصة (propeller) ومراوح محور أنبوبي (Tubeaxial) ومراوح محورية ذات الرياش (Vaneaxial) . وتتكون المراوح الرفاصة من ريشتين أو أكثر متصلتين بمدار العجلة المركزي والصغير إلى حد ما . ويأخذ هذا المدار حركته مباشرةً من محرك كهربائي أو من خلال نظام سير وطارة لخفض سرعة الدوران . وقد صُمم هذا النوع لتوفير هواء يُستخدم في التهوية أو التقليب ، وليس لإحداث فرق ضغط . وتصنع ريش المروحة من ألواح معدنية عادية أو بعد تقسيتها . وفي الغالب ما تتيح الريش المقسّاة فرق ضغط مرتفعًا إلى حد ما ، كما تبقى نظيفة إلى حد ما خاصةً عند استخدامها في تطبيقات ذات نسب تركيز أتربة مرتفعة مثل تهوية مباني الإنتاج الحيواني وبيوت الدواجن .

مراوح رفاصة (Propeller Fans) . عادة ما يتم تركيب المراوح الرفاصة على حلقة دائرية أو في فتحة لوح - ممكن مع تصميم فنتوري- . ويعتبر خلوص طرف الريشة عاملاً مهمًا مع هذا النوع من المراوح . ومن المرغوب أن يكون هذا الخلوص صغيراً ومنتظم التوزيع . وتمنع الخلوصات بين حافة الريشة النهائية وسطح

الحلقة من سريان الهواء إلى الخلف حول المروحة، مما قد يسبب دائرة مختصرة للهواء.

وعامةً لا يستخدم هذا النوع من المراوح في حالة الحاجة إلى هواء مدفوع في اتجاهات مستوية. ويرجع السبب في ذلك إلى أن هذا النوع من المراوح يدفع الهواء في أنماط دائرية أو دوّامات نتيجة لالتواء حركة الأسلحة مع دوران المروحة. وتؤدي أي إعاقة للحركة الدوامية على جانب تصرف هواء المروحة إلى انحدار أداء المروحة وزيادة المقاومة على الحركة الدوّارة وإلى خلق ضغط خلفي بسيط على المروحة. ويؤدي أي ضغط خلفي ولو بسيط على المروحة إلى انخفاض جوهري لمعدل سريان الهواء نظرًا لافتقار هذا النوع من المراوح إلى خصائص توليد الضغوط. ويعد تأثير الحواجز الهوائية المركبة على الجانب الخاص بدخول الهواء إلى المروحة غير جوهري بالنسبة لأداء المروحة. ويرجع السبب في ذلك إلى عدم حدوث دوران بالنسبة لهواء الدخول نتيجةً لنظافة الحواجز والفتح الكامل والضبط الملائم والعمل بحرية. ومن المرجح ألا تعوق الحواجز التي تعمل ميكانيكيًا سريان الهواء حتى ولو تراكمت الأتربة على تلك الحواجز.

وتأخذ المراوح الرفاصة حركتها إما عن طريق عمود إدارة متصل بمحرك كهربائي أو عن طريق سيور وطارات. وتأخذ المراوح حركتها من محركات كهربائية ذات سرعات ثابتة تستخدم إما أربعة أعمدة (من ١٧٢٥ إلى ١٧٥٠ لفة/ دقيقة) أو ستة أعمدة (من ١١٤٠ إلى ١١٦٠ لفة/ دقيقة). وتوجد أيضًا مراوح ذات سرعات منخفضة غير شائعة الاستخدام بالرغم من قلة الضوضاء الصادرة من تلك المراوح أثناء التشغيل. وتعتبر المراوح ذات السرعات المتغيرة أيضًا متوافرة وهي التي تعمل باستخدام محرك ذي مكثف منفصل مع التحكم في السرعة بواسطة جهاز حس حراري يغيّر من قدرة المصدر الواصل إلى المحرك الكهربائي. ويعتبر الإقلال من عدد أعمدة ومرتكزات المراوح من مميزات استخدام المراوح المتصلة مباشرةً بالمحرك، وذلك لسهولة إجراء عمليات الصيانة. ولكن تعتبر المراوح ذات السرعات الثابتة محدودة الاستخدام بالنسبة للمحركات المتوافرة تجاريًا. وتؤثر أيضًا المراوح المتصلة مباشرةً بالمحركات على كل من عمود وكراسي المحرك بقوى متعامدة، وقد يؤدي عدم اتزان الريش إلى تولد اهتزازات.

ومع أن السرعات المستخدمة مع المراوح تكون عامةً أقل من ١٠٠٠ لفة/ دقيقة، إلا أنه في الحقيقة يمكن تشغيل المراوح التي تأخذ قدرتها بواسطة سيور عند أي سرعة مرغوبة. ومع أن استخدام كراسي تحميل زائدة قد يؤدي إلى خفض كفاءة المروحة، إلا أن حركة الريش المنخفضة قد يكون لها معامل سحب احتكاكي من الهواء أقل، والذي بدوره قد يزيد من كفاءة المروحة. ومن المرغوب عند استخدام سيور على شكل الحرف V أن تكون هناك مسافات مركز-إلى-مركز، وذلك للحد من انزلاق السير على الطارات. ولكن قد تكون السيور المتاحة التي على شكل الحرف V محزوزة، بحيث تسمح بمسافات قصيرة لمركز عمود الدوران مع فواقد سير منخفضة وعمر استخدام أطول. ولابد من مراجعة شد السير على فترات زمنية وضبطه عند الضرورة بالنسبة لأي مروحة تأخذ حركتها بواسطة سير، وذلك للمحافظة على أداء وكفاءة المروحة.

مراوح محوري أنبوبي (Tubeaxial Fans). تختلف هذه المراوح عن المراوح الرفاصة من حيث عدد وعرض الريش. فيتراوح عدد الريش في المراوح الأنبوبية من أربع إلى ثماني ريشات مع عرض أكبر إلى حد ما للريشة، حيث يتم التركيب في أنبوبة أو ماسورة. ويُسهّل ذلك من عملية توصيل المروحة مع نظام ماسورة لتوزيع الهواء. وتكون الأنبوبة أسطوانية مع وجود خلوص محدد بين أطراف ريش المروحة والإطار. ويمكن أن يُحدث ذلك النوع من المراوح فرق ضغط أعلى وجوهري من المروحة من النوع الرفاص نظراً لزيادة عرض الريشة وصغر الخلوص. ومن ثم يستخدم هذا النوع في مواسير نظم توزيع الهواء في التطبيقات التي قد تحتاج إلى ضغوط منخفضة ومتوسطة. ويعتبر عرض الريشة الكبير مهمًا في تحسين خصائص ضغوط المروحة. ويتم إزاحة معظم الطاقة المعطاة إلى الهواء من المروحة الرفاصة بواسطة أطراف الريش. وتعطي المنطقة المركزية حول الريشة كمية قليلة من الطاقة - الطاقة التي ينتج عنها فرق الضغط. وهكذا، إذا كانت هناك مروحة رفاصة تعمل عند فرق ضغط كلي في مكان ما قريب بحيث يُختصر فيه تأثير المروحة، فإن كمية جوهرية من الهواء سوف تسري إلى الخلف من خلال المروحة بالقرب من الريشة. أما بالنسبة للمروحة من النوع "محوري أنبوبي" وأيضًا من النوع "ذات الرياش"، فإن عرض الريش الكبير قد يحجز هذا المرور الذي يتولّد بواسطة الدائرة

المختصرة، مما يسمح بتولد فروق ضغط كلية مرتفعة.

مراوح محورية ذات الرياش (Vaneaxial Fans) . يتم استخدام هذا النوع من المراوح بالنسبة للتطبيقات التي تحتاج إلى ضغط كلي مرتفع. وتحتوي هذه المراوح في الغالب من ٦ إلى ١٢ ريشة. وتأخذ مساحة مقطع الريشة شكل جناح الطائرة مع عرض كبير نسبيًا - أكبر ٥٠٪ من قطر ريشة المروحة. ويتنافس هذا النوع من المراوح مع مراوح الطرد المركزي من حيث الحصول على ضغط للهواء، كما يمتاز أيضًا بقلة الضوضاء المصاحبة للتشغيل. ويمكن استخدام آخر نوعين من المراوح في عمليات التهوية الخاصة بالمحاصيل والحبوب داخل الصوامع بحيث يمكن العمل تحت الضغط الإستاتيكي المطلوب لدفع الهواء خلال المواد المخزنة داخل الصومعة. ونظرًا لأن تطبيقات عديدة تتطلب عامةً معدلات سريان جوهرية بالإضافة إلى فروق ضغط كلية جوهرية، فإن ذلك يتطلب محركات كهربائية ذات سعات كبيرة - بالمقارنة بالنسبة للمراوح الرفاصة التي تحتاج عامةً إلى قدرة حصانية صغيرة. وتستخدم نماذج ثلاثي الطور مع المحركات الكهربائية الكبيرة كَمثل أحادي الطور.

مراوح الطرد المركزي (Centrifugal Fans) . في الغالب تحتوي مراوح الطرد المركزي على عدد يتراوح ما بين عشر ريشات وستة عشر ريشة. وتُقسم أنواع تلك المراوح على حسب اتجاه الريش: ريش مائلة إلى الأمام وريش مائلة إلى الخلف وريش معتدلة. وتؤدي أنواع الريش الثلاثة إلى وجود اختلافات في خصائص المراوح - معدلات سريان الهواء كدالة في الضغط الكلي. ولكن تعمل الأنواع الثلاثة لهذا النوع من المراوح بكفاءة مع تزويد فروق ضغط مرتفعة. ويتولد فرق الضغط داخل مراوح الطرد المركزي بطريقتين يمكن وصفهما كالآتي.

يعمل الطرد المركزي بالنسبة للريش الدوّارة على إحداث فرق ضغط إستاتيكي، كما تضيف السرعة المنقولة إلى الهواء بواسطة الريش طاقة حركة تعمل على زيادة فرق الضغط الكلي. وتعرّف سرعة الهواء عند تركها للموضع الدافع بالمجموع الاتجاهي لسرعة الدافع بالإضافة إلى سرعة الهواء إلى الدافع. وتكون السرعتان في اتجاهين مختلفين إذا كانت الريش مائلة إلى الخلف، بينما تكون السرعتان في نفس الاتجاه عند استخدام ريش مائلة إلى الأمام. وعلى ذلك تدفع المراوح التي تستخدم ريشًا مائلة إلى الأمام معدلاً كبيراً للهواء بالرغم من انخفاض

فرق الضغط الكلي.

وغالبًا ماتُستخدم مراوح الطرد المركزي ذات الريش المعتدلة في تطبيقات معاملة المواد أو في حالة دفع هواء ذي نسبة تركيز أتربة مرتفعة. وتُستخدم مراوح الطرد المركزي في المنشآت كثيرة التعرض للعواصف، أو في الأماكن التي تعتبر سهولة الصيانة الحقلية بها عاملاً مهمًا. ولكن غالبًا لا تُستخدم تلك المراوح لمجرد دفع الهواء فقط.

وتعتبر المراوح ذات الريش المائلة إلى الخلف من أكفأ أنواع مراوح الطرد المركزي والتي في الغالب ماتعمل عند السرعات المرتفعة. ويعتبر الحصول على منحنى خصائصي متكامل من أهم إسهامات ذلك النوع من المراوح. ويكون تأثر معدلات التهوية مع هذا النوع من المراوح بفرق الضغط الكلي أقل مما لو استخدمت المراوح ذات الريش المعتدلة أو المائلة إلى الأمام. وتعتبر هذه الخاصية مرغوبةً في التطبيقات الأولية في الزراعة بالنسبة لمراوح الطرد المركزي : تجفيف الحبوب والمحاصيل. ويعني منحنى خصائصي منبسط اعتمادًا أكثر على معدل الهواء المدفوع عند الاستخدام في ظروف متغيرة.

نظم تصنيف المراوح (Fan Rating Systems)

يمكن القول إن كل المراوح لها نسبة انزلاق، بمعنى أنه لاتوجد مروحة ذات كفاءة متناهية في نقل الطاقة إلى الهواء. فربما تصل أفضل كفاءة للمراوح إلى ٨٠٪، مع أن من النادر ماتصل كفاءة المراوح الرفاصة مثلاً إلى ٤٠٪. وتعني نسبة الانزلاق أنه من الضروري إيجاد منحنيات خصائص المراوح تجريبيًا. ويمكن توضيح تلك المنحنيات بعدة طرق، فيتم لأغراض هندسية اختيار معدل السريان على المحور الأفقي. ويمكن رسم عدة خصائص كدالة في معدل السريان : فرق الضغط الإستاتيكي وفرق ضغط السرعة وفرق الضغط الكلي والكفاءة الإستاتيكية والكفاءة الميكانيكية والقدرة المستخدمة مع المروحة (المزودة من المحرك الكهربائي إلى عمود الإدارة). ويمكن إضافة كفاءة استخدام الطاقة إلى وحدة مراوح وملحقاتها، ولكن من النادر ما يحدث ذلك.

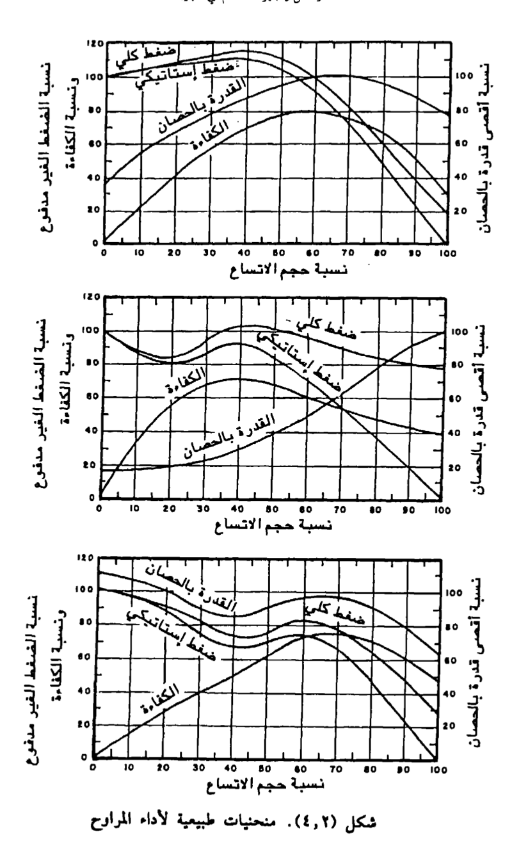
ويتم لأغراض تصاميم نظم التهوية اختيار رسوم بيانية مختلفة. فيتم وضع

فرق الضغط الكلي على الإحداثي الرأسي ومعدل سريان الهواء على الإحداثي الأفقي. وهناك أيضًا أشكال أخرى شائعة مثل فرق الضغط الكلي على الإحداثي الرأسي مع استخدام كل من الطاقة الداخلية للمروحة وكفاءة استخدام الطاقة والكفاءة الميكانيكية والكفاءة الإستاتيكية على المحور الأفقي.

وتغطي الرسوم البيانية المدى من فرق ضغط صفر- والذي يطلق عليه طردًا حرًا أو طرد هواء حرًا- إلى النقطة حيث لايوجد سريان للهواء، والتي يُطلق عليها حالة عدم الطرد أو الإيقاف الإستاتيكي. ويوضح الشكل رقم (٢ , ٤) منحنيات نموذجية بالنسبة لأداء المراوح. ويوجد لكل نوع من المراوح منحنى خصائصي فردي. ويمكن الرجوع إلى أدلة المتنجين أو إلى المرجع (ASHRAE Handbook) للحصول على وصف كامل بالنسبة لمنحنيات أداء الأنواع الجديدة من المراوح [١].

برنامج تصنيف (AMCA) المعتمد. قامت جمعية مهتمة بحركة الهواء وطرق التحكم فيه (Air Movement and Control Association, AMCA) بالتعاون مع (ASHRAE) بتطوير مقياس ٢١٠ يصف الطرق المعملية الواجب استخدامها عند اختيار المراوح لأغراض التصنيف[٢]. وتعتبر (AMCA) جمعية تجارية تطوعية خاصة بمصانع المراوح. وقد تشكلت تلك الجمعية لتوفير بيانات تُنشر عن إجراء اختبارات خاصة بدقة المراوح. وقد تم تنفيذ برنامج (AMCA) المعتمد لتصنيف المراوح، وذلك للوصول إلى تلك الغاية. وتوجد لدى هذا البرنامج عدة أشكال من بينها :

١- مقياس منشور يحدد طرق وظروف اختبار المراوح، بحيث يمكن تصنيف ومقارنة المراوح المنتجة من مصانع مختلفة. وتعتبر التحديدات الخاصة بإنشاء وتشغيل مجاري الرياح المستخدمة في اختبار المروحة أهم ما في هذا المقياس. ولابد لكي يُستجاب لبرنامج التصنيف المعتمد من اختبار المراوح في مجرى هوائي باستخدام طريقة توافق عليها تلك الجمعية شخصيًا. ويمكن أيضًا إجراء الاختبارات في معامل الجمعية في آرلنجتون هايتس، في ولاية ألينوي؛ أو يمكن إجراء التجارب في المعامل الخاصة بالمصانع (أو في معامل لإجراء التجارب خاصة بأي هيئات مستقلة توافق عليها الجمعية). وتُرخص المراوح بعد إجراء التجارب بشهادة تُختم



شكل (٤,٢). منحنيات طبيعية لأداء المراوح

بختم موافقة الجمعية على دقة الطرق المستخدمة للحصول على البيانات. وتعتبر دقة البيانات مقبولة مادامت الجمعية قد أكدتها.

٢- تسمح المواصفات الأخرى من برنامج الجمعية بالاستمرار في إجراء اختبارات التأكد بالنسبة للمنتجات المرخصة واختبارات المنافسة بين مصانع المراوح المختلفة والمراجعات الدورية لمعامل إجراء اختبارات المراوح الحاصلة على موافقة الجمعية. وقد تم وضع قائمة بخطوط المنتجات المرخصة في "دليل المنتجات المرخصة" والمنشورة دوريًا بواسطة الجمعية[٣].

ويجب أيضًا التعرف على إحدى المواصفات التي لاتعتبر جزءاً من برنامج الجمعية. فلا يضمن وجود ختم الجمعية على المروحة أن أداء المروحة في الحقل سوف يكون مطابقًا للبيانات المنشورة بواسطة المصنع. ويعتمد ذلك على نوع القطع المساعدة أو الأجزاء الإضافية المتوافرة أثناء إجراء اختبارات التصديق. وهكذا، فقد يختلف أداء المروحة أثناء التركيب عن الأداء المنشور في الدليل؛ إلا إذا كانت بيانات اختبار المروحة قد حددت نوع كل القطع المساعدة التي استخدمت في التجارب، وتضمنت أيضًا فواقد التشغيل.

ويوصى بالنسبة للمراوح المستخدمة في السوق الزراعي والمتوافرة مع ملحقاتها، أن يتم تطبيق البيانات على المروحة في حالة البيع والتركيب. ولكن، نادراً ما تُباع المراوح الصناعية كوحدات مع ملحقاتها، كما أن الأداء الحقلي يعتمد على خصائص التركيب الفعلية. ويجب في تلك الحالة فقط نشر الخصائص الخاصة بوحدة دفع الهواء الأساسية. ويقود الفرق بين سوقي المراوح إلى المشكلة في تعريف كلمة "مروحة"، والتي تم ذكرها سابقًا.

وأخيراً، لايجب الافتراض أن نماذج المراوح المرخصة بواسطة AMCA مراوح "جيدة"، وأن المراوح غير المعتمدة مراوح "رديئة". فلايمكن اعتبار أن ختم المروحة شهادة ضمان بجودتها. إنها فقط شهادة رسمية تعبر عن دقة إجراء التجارب. وهناك عدد من المصانع قد اختارت عدم المشاركة في هذا البرنامج المعتمد. ويوجد عدد آخر من المصانع قد ساهم فقط بعدد قليل من نماذج المراوح. ولكن، قد توجد نماذج من المراوح غير المرخصة تم إجراء اختبارات الأداء لها في معامل (AMCA) الخاصة باختبارات القبول. وبناءً على ذلك، ينصح المشترون عند تقييم مراوح غير حاملة

لخاتم قبول الجمعية بإيجاد المصدر المعتمد للبيانات المنشورة عن أداء المراوح. ويعتبر ذلك ضروريًا عند شراء المروحة كوحدة مستقلة، بالإضافة إلى التأكد من أن البيانات المنشورة تمثل فعلاً المروحة المركبة.

قوانين المراوح (The Fan Laws)

يتم تطبيق النتائج المتحصل عليها من اختبارات المراوح فقط على نفس الشروط التي كانت عليها المروحة أثناء الاختبار، وأيضًا عند نفس السرعة المستخدمة. كما أنه ليس من السهل اختبار المروحة تحت كل الظروف وكل السرعات. ويعتبر استخدام القوانين الخاصة بالمراوح مقبولاً عند التنبؤ بأداء المروحة تحت ظروف وسرعات أخرى غير التي استخدمت في الاختبارات، وإن كانت دقة التنبؤ ليست عالية. فتعتبر تلك القوانين مقبولةً من الناحية العملية خاصةً بالنسبة للمراوح التي تعمل تحت ظروف وشروط محددة. ويمكن استخدام قوانين المراوح للتنبؤ بمعدل سريان الهواء (Q) والقدرة (W) وفرق الضغط (δP) ، وذلك كدالة في كل من قطر المروحة (D) وكثافة الهواء (ρ) والسرعة الدورانية (.r.p.m) . وقد يكون الضغط المستخدم هو الضغط الكلي أو ضغط السرعة أو الضغط الاستاتيكي.

ويمكن تلخيص وتجميع القوانين الخاصة بالمراوح في الصور الآتية – مع الأخذ في الاعتبار أن الحالة (١) تشير إلى المروحة المعلومة البيانات، بينما تشير الحالة (٢) إلى المروحة المطلوب معرفة البيانات الخاصة بها:

$$Q_2 = Q_1\,(rpm_2/rpm_1)(D2/D1)^3 \qquad (٤,١)$$

$$W_2 = W_1(rpm_2/rpm_1)^3\ (D2/D1)^5\ (\rho2/\rho1) \qquad (٤,٢)$$

$$P_2 = P_1(rpm_2/rpm_1)^2\ (D2/D1)^2\ (\rho2/\rho1) \qquad (٤,٣)$$

وتخضع هذه المعادلات – للحصول على دقة مقبولة – لعدد من الشروط:

١ . تطبق القوانين فقط على المراوح المتماثلة (homologous) مع ملاحظة أن العديد من المراوح المحورية ليست متماثلة.

٢ . تطبق القوانين على مراوح ذات ريش أقطارها أكبر من قطر ريشة المروحة المعلومة البيانات.

٣ . ينصح بعدم استخدام هذه القوانين للتنبؤ خارج المدى فيما لو كانت نسبة

القطر (D2/D1) أو نسبة السرعة (rpm_2/rpm_1) أكبر من ٣ ، أو لو كان ناتج حاصل ضرب نسبة القطر مع نسبة السرعة أكبر من ٣ .

مثال

مروحة من النوع الرفاص تدفع هواء بمعدل ٤ (م³/ ث) عند فرق ضغط كلي ١٢ باسكالاً . فإذا كانت القدرة المتاحة ٤٠٠ واط - إلى ريشة المروحة وليست الطاقة الكهربائية المستهلكة بالمحرك الكهربائي - وسرعة المروحة الدورانية ٨٠٠ لفة/ دقيقة، والمروحة في مرحلة التطوير عن طريق تركيب مجموعة أخرى من الطارات بحيث تصبح سرعتها الدورانية ٩٠٠ لفة/ دقيقة مع تثبيت بقية المتغيّرات الأخرى . احسب معدل التهوية والطاقة المضافة نتيجة لهذا التعديل .

الحل .

$$Q_2 = 4(900/800)(1)^3 = 4.5 \ m^3/s \qquad (٤ , ٤)$$

$$W_2 = 400(900/800)^3(1)^5(1) = 570 \ Watts \qquad (٤ , ٥)$$

ويكون فرق الضغط الكلي :

$$P_2 = 12(900/800)^2 (1)^2 (1) = 15.2 \ P_a \qquad (٤ , ٦)$$

ويمكن الحصول على المنحنى الجديد الخاص بخصائص المروحة المعدلة عن طريق منحنى المروحة الأصلية والتنبؤ أو حساب النقط بطول المنحنى الجديد باستخدام قوانين المراوح .

تصنيفات كفاءة المراوح (Fan Efficiency Ratings)

يتم في الغالب حساب الكفاءة الميكانيكية والإستاتيكية عند الاختبارات الخاصة بتصنيف المراوح . وتوجد دلالات لتلك العناصر من وجهة نظر المهندسين القائمين على التصميم وخاصةً بالنسبة لتهوية المصانع . ولكن قد يختلف الأمر قليلاً بالنسبة

للتطبيقات الزراعية - مثل تهوية مباني الإنتاج الحيواني أوالبيوت المحمية . ويعتبر نسبة ما يؤخذ من المروحة إلى ما يُدفع من تكلفة طاقة كهربائية داخلة إلى المروحة أهم ما يشغل فكر المربي أو المالك . ويُطلق على ذلك لسنوات عدة "بعدد الأقدام المكعبة في الدقيقة لكل واط" . ويسمى في الغالب هذا التعريف بعدد الأمتار المكعبة التي تدفعها المروحة في الثانية لكل كيلو واط طاقة كهربائية مستخدمة في التشغيل . ولقد أطلق على هذه النسبة بنسبة كفاءة التهوية Ventilating Efficiency Ratio (VER) ، ويوازي هذا الجزء ما يطلق عليه بنسبة كفاءة الطاقة Energy Efficiency Ratio (EER) المستخدمة في وصف كفاءة استخدام الطاقة مع أجهزة التكييف(٥) .

وغالبًا ما يتم شراء المراوح على أساس التكلفة الثابتة بغض النظر عن تكلفة التشغيل . وعلاوةً على ذلك ، فإن أي مروحة ذات معامل تشغيل محسوب - نسبة وقت التشغيل - سوف تكلف أكثر بكثير عند التشغيل أثناء عمرها الافتراضي عن التكلفة الأصلية . ويوجد العديد من مستخدمي المراوح الذين لايدركون ذلك ، ولايدركون أيضًا أن نماذج مروحتين - على ما يبدو متماثلتان - قد يكون لدى كل منهما معامل (VER) مختلف تمامًا عن الآخر . ولايوجد نظام تصنيف قياسي بالنسبة لكفاءة استخدام المراوح للطاقة ، ولكن تقوم بعض المصانع بتزويد بيانات يمكن استخدامها في تقدير معدلات (VER) . وتكون تلك الحالات حيث تتوافر بيانات دقيقة عن توزيع الهواء وقياسات دقيقة للكهرباء المستهلكة بواسطة المحرك الكهربائي مع اختبار للمروحة وملحقاتها بعد التركيب .

وتتغيّر قيمة (VER) المتماثلة مع وحدات المراوح وملحقاتها المتوافرة تجاريًا من مصنع إلى آخر ، كما تتغير بين الأنواع المختلفة من المراوح بالنسبة لنفس المصنع . فعلى سبيل المثال ، تتغيّر بيانات (VER) الفعلية من ٥ م٣/ (ث . ك واط) إلى تقريبًا ١٠ م٣/ (ث . ك واط) . ولكي نوضح أهمية هذا المعامل ، نفترض أن هناك مروحتين قيمة (VER) لكل منهما ٥ و ١٠ م٣/ (ث . ك واط) على الترتيب . وقد تم ضبط معدل الهواء الخارج من المروحتين على ٤ (م٣/ ث) للاستخدام الفعلي لمدة عام بمتوسط معامل تشغيل ٦٥٪ . وكانت تكلفة الكهرباء بالنسبة للمروحة (VER = 5) على أساس السعر ٨ سنت/ (ك . واط) كالتالي : ملحوظة : ١ دولار أمريكي = ١٠٠ سنت :

$$\text{Cost} = \frac{(\$\ 0.08/\text{kWh})(0.65)(4\ \text{m}^3/\text{s})(24\ \text{h/day})(365\ \text{days/yr})}{5(\text{m}^3/\text{s. kW})} \quad (٤ , ٧)$$

$$= \$\ 364 \text{ per year}$$

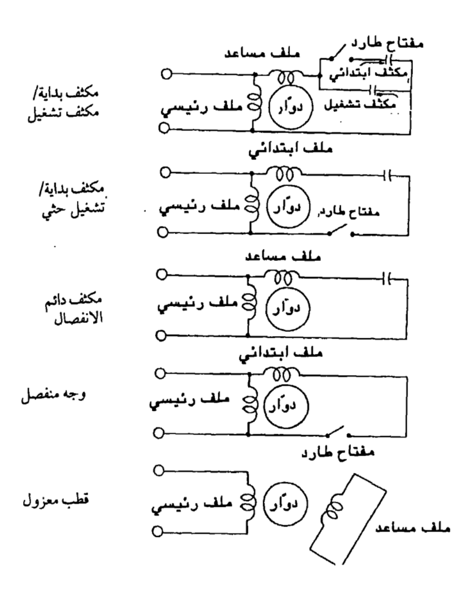
وتنخفض التكلفة إلى النصف بالنسبة للمروحة (VER = 10) بمعدل توفير سنوي ١٨٢ دولاراً أمريكيًا. ويفوق هذا المعدل من التوفير الكلي ثمن المروحة نفسها بفرض عمر افتراضي للمروحة عشر سنوات. وتوجد بالطبع عوامل أخرى كثيرة يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند اختيار المروحة، وإن كانت كفاءة استخدام الطاقة أهم تلك العوامل.

المحركات الكهربائية
(MOTORS)

المحركات الكهربائية الحثية (Induction Motors)

تعتبر المحركات الكهربائية من النوع الحثي من أشهر أنواع المحركات المعاصرة. ويتصل الملف الابتدائي في هذا النوع من المحركات الكهربائية بمصدر القدرة. و يحمل الملف الثاني أو الدوّار التيار المستحث مكونًا دائرة مغلقة. ويتولد العزم من تفاعل المجالات الكهرومغناطيسية للدوّار (rotor) مع الجزء الثابت (المخدة) (stator). ويتم استخدام نوعين من المحركات الحثية أحادية الطور وهما المحرك ذو العضو الدوّار ومحرك قفص السنجاب. وتعتبر الأنواع ذات العضو الدوّار أقل شيوعًا في الوقت الحاضر. ويتم تحديد خصائصهما بواسطة حافظة مغناطيسية ولولب (دوّار) وعاكس تيار وفرش.

وتعتبر المحركات من النوع قفص السنجاب بسيطة وتتحمل العمل الشاق. وتعتبر تلك المحركات أيضًا ذات قدرات تجزيئية، مع أنه يوجد العديد من المحركات الرخيصة الثمن والمتوافرة في الأسواق وذات قدرات تجميعية. وتوجد خمسة أنواع من محركات قفص السنجاب أحادية الطور: مكثف بدء حركة-مكثف تشغيل (Capacitor start- Capacitor run) ومكثف بدء حركة-تشغيل حثي (Capacitor start-Induction run) ومكثف مجزأ دائم (Permanent split capacitor) وطور مجزأ (Split phase) وقطب معزول (Shaded pole). ويبيّن الشكل رقم (٣ , ٤) رسومًا



شكل (٤,٣). رسوم لخمسة أنواع من المحركات الكهربائية الشائعة الاستخدام في تطبيقات التهوية.

توضيحية لتلك الأنواع الخمسة.

ولاتحتاج المحركات الحثية أحادية الطور إلى عزم تشغيل ابتدائي. ويكون المجال إستاتيكيًا ذا خفقان. ويكون المجال الحثي على العضو الدوّار أيضًا إستاتيكيًا. وقد يحدث تبادل للمجالات في الأقطاب، ولكن لايحدث دوران [٦]. ولكن،

بمجرد بدأ دوران العضو الدوّار، تبدأ المجالات الابتدائية والثانوية في توليد عزم. وسوف يستمر المحرك في التعجيل ليتمشى مع الحمل المفروض. وتعني تلك الخاصية وجوب وجود لفة منفصلة لبدأ تشغيل المحرك. ومن الطبيعي أن تكون اللفة المساعدة متصلة على التوالي مع المكثف، ومتصلة على التوازي مع اللفة الأولية. وتعمل اللفة المساعدة على توليد مجال يتفاعل مع المجال الابتدائي لإنتاج مجال دوراني فعّال. ويحدث ذلك نتيجةً لحدوث زحزحة طورية متولدة من مكثف اللفة المساعدة بين التيارات في كل من الملفات الابتدائية والثانوية. وقد يبقى المجال المساعد فعّالاً في كل الأوقات، أو يمكن إبطاله بواسطة مفتاح طرد مركزي عندما تصل سرعة المحرك إلى السرعة التي يحتفظ عندها المجال الإستاتيكي والنابض بعزم كاف (تقريبًا ٧٥٪ من السرعة الكاملة).

محركات ذات أقطاب معزولة (Shaded Pole Motors) . يعتبر هذا النوع استثناءً من القاعدة العامة التي تقول إن هناك احتياجًا إلى مكثف مع الملف المساعد. ويكون الملف المساعد في محرك ذي قطب معزول دائمًا قصير وذي مقاومة عالية بحيث يحث التيار بواسطة المجال الابتدائي. ويتولد نتيجةً لوضع الملف الابتدائي أثناء التشغيل مجال دوراني إستاتيكي. ومن خصائص تلك المحركات انخفاض كل من العزم والكفاءة ومعامل القدرة والتكاليف الثابتة. وتستخدم تلك المحركات فقط مع الاستعمالات الخفيفة.

محركات مجزأة الأطوار (Split phase Motors) . يتم في هذا النوع من المحركات تحريك الملف المساعد بالنسبة للملفات الرئيسية ٩٠ درجة مغناطيسيًا بحيث تعمل الملفات معًا على توليد مجال دوراني يساعد على تعجيل حركة المحرك من السكون. ويوجد مفتاح طرد مركزي يعمل على فصل الملف المساعد عن الدائرة عند الوصول إلى السرعة المرجوة، بينما يستمر المحرك في الدوران فقط بمساعدة الملف الرئيسي. ويمكن عند السكون عكس دوران المحرك عن طريق عكس أي من أزواج التحميل. وعامةً تستخدم المحركات مجزأة الأطوار مع تطبيقات القدرة المنخفضة، أي ٢٥٠ واط أو أقل. ومن خصائص تلك الأنواع من المحركات انخفاض كل من

الكفاءة ومعامل القدرة والتكلفة وأيضًا الاحتياج إلى عزم تشغيل متواضع.

محركات ذات مكثف مجزأ دائم(Permanent split capacitor Motors).

يعمل المكثف المجزأ الدائم في الملف المساعد لنظام محركات ذات مكثف مجزأ دائم على تقليل تيار بدأ التشغيل. ولكن نظرًا لصغر حجم المكثف المستخدم، فإن الحادث هو انخفاض عزم بداية التشغيل. ولا يُسبب هذا النوع من المحركات مشاكل تذكر عند استخدامه مع المراوح خاصةً الأنواع ذات الدفع المباشر؛ نظرًا للحاجة إلى عزوم تشغيل منخفضة. ويتيح استخدام المكثف الدائم أيضًا تولد كفاءات ومعاملات قدرة مرتفعة نسبيًا. ويكون الاستخدام النموذجي لتلك المحركات مع المراوح ذات الدفع المباشر، والمراوح التي تحتاج أيضًا إلى سرعات متغيّرة؛ نظرًا لعدم وجود مفتاح طرد مركزي لفصل الملفات المساعدة عند السرعات المنخفضة.

محركات ذات مكثف-بدأ حركة، تشغيل-حثي

(Capacitor-Start, Induction-Run Motors)

تعتبر هذه المحركات مشابهة للأنواع ذات مجزأة الأطوار باستثناء تركيب مكثف على التوالي مع الملف المساعد. ويعمل هذا المكثف على زيادة عزم بداية التشغيل ثلاثة أضعاف العزم الناتج من محرك مجزأ الطور له نفس الحجم. ولكن يعيب هذا النوع من المحركات سحب تيار كهربائي عند بدأ التشغيل يساوي من ٣ إلى ٦ مرات التيار المستمر. ويعتبر هذا النوع شائع الاستخدام ومتوافرًا في أحجام صغيرة حتى ٧,٥ كيلو واط. ويمكن أيضًا عكس اتجاه الحركة عن طريق تبديل وضع الأطراف الموصلة إلى ملف بدأ التشغيل.

محركات ذات مكثف-بدأ حركة، مكثف-تشغيل

(Capacitor-Start, Capacitor-Run Motors)

يُطلق على تلك المحركات أيضًا المحركات ذات المكثفين القيّمين. ويوجد مع هذا النوع مكثف دائم التشغيل متصل على التوالي مع الملف المساعد. ويتصل ملف التشغيل الثاني - ذو الحجم الأكبر- على التوازي مع مكثف التشغيل ومفتاح طرد مركزي يعمل على توفير عزم كبير للمحرك أثناء عملية التعجيل وكفاءة نسبية مرتفعة

جداً وكذلك معامل قدرة مرتفع. ويعتبر ذلك ملائمًا لجعل تلك المحركات تعمل مع المراوح ذات الدفع بالسيور. ويحتمل أن تكون تلك المحركات من أفضل المحركات أحادية الطور، والمتوافرة في أحجام تتراوح ما بين ٣٧٥ واط و ١٥ كيلوواط تقريبًا.

محركات من النوع التنافري (Repulsion-type Motors)

تختلف المحركات الكهربائية التنافرية عن محركات قفص السنجاب في البنيان الخاص بالدوّارات. ويعتبر العضو الدوّار القلب، حيث يتم تركيب الملف في داخله. ويتم توصيل الملف إلى عاكس التيار بواسطة فرش. وقد تكون الفرش راكبةً على عاكس التيار معظم الوقت، وذلك ما يطلق عليه في التصميم "brush-riding". وتصنع الفرش حيث يمكن رفعها تبادليًا عندما تصل سرعة المحرك تقريبًا ٧٥٪ من السرعة المكتملة، وذلك ما يطلق عليه في تصميم المحرك "brush-lifting".

ولاتعتبر المحركات الكهربائية من النوع التنافري شائعة الاستخدام في تطبيقات تستلزم عملاً مستمراً مثل مراوح التهوية. ويرجع السبب في ذلك إلى زيادة التكلفة، بالإضافة إلى مشاكل الصيانة نتيجة تآكل الفرش وعاكس تيار. ويكون الاستخدام الأفضل والأكثر ملاءمةً لتلك المحركات مع العمليات التي تتطلب أحمالاً ثقيلة ومتقطعة عند بداية التشغيل.

محركات كهربائية عمومية (Universal Motors)

يعتبر المحرك العمومي أو المتصل على التوالي من أكثر الأنواع شيوعًا في الاستخدام مع المراوح الرفاصة. ويعتبر المحرك ذا سرعة عالية بحيث يمكن استخدامه مع كل من التيار المستمر والمتقطع. ويوجد في هذا النوع من المحركات عزم دوراني ابتدائي مرتفع وسرعة تشغيل حساسة بدرجة مقبولة بالنسبة للحمل المفروض. وعامةً تكون المحركات العمومية متوافرة حتى ٢٥٠ واط، ولكن تعتبر أقل كفاءة من المحركات من النوع "مكثف-تشغيل"، والذي يعتبر العامل المهم في تطبيقات التشغيل المستمر مثل مراوح التهوية.

محركات ذات بدء حركة- خفيضة (Soft-Start Motors)

يفضل استخدام المحركات الكهربائية ثلاثية الطور بالنسبة للتطبيقات التي تتطلب محركات كبيرة الحجم - مثل ٥,٥ كيلوواط أو أكبر. ويرجع السبب في ذلك إلى انخفاض شدة التيار المستخدم عند بدء الحركة انخفاضًا جوهريًا، بالإضافة إلى قلة التكلفة. وعلاوةً على ذلك، يوجد العديد من المزارع التي لاتُخدم بواسطة مصادر قدرة ثلاثية الطور. وتعتبر المحركات الكهربائية ذات البداية الخفيضة محركات أحادية الطور تم تطويرها لتغطية هذا الاحتياج. وتستخدم تلك المحركات في تطبيقات مثل مجففات الحبوب والمحاصيل. ويتم تزويد تلك المحركات بعدد من لفات خاصة تسمح للمحرك أن يكون ثنائي أو ثلاثي العزم. ويتوافر عند بداية التشغيل عزم منخفض يتولّد عنه تيار منخفض. وتسمح تلك الخاصية باستخدام محركات كهربائية كبيرة أحادية الطور على خط لم يكن من الطبيعي أن يُسمح به بواسطة شركات الكهرباء.

كفاءة المحرك الكهربائي (Motor Efficiency)

تتغيّر كفاءة المحركات الكهربائية تغيّراً كبيراً في مدى يتراوح تقريبًا من ٩٥٪ بالنسبة للمحركات ثلاثية الطور إلى ما بين ٣٠ و٣٥٪ بالنسبة للمحركات الصغيرة. ومع أن نوع المحرك يحدد إلى حد كبير الكفاءة، إلا أنه توجد عوامل أخرى مرتبطة بالتركيب قد تؤثر أيضًا على كفاءة المحرك. وتعتبر فواقد قلب المحرك أحد مصادر انخفاض الكفاءة. فقد يساعد استخدام مادة الحديد الصلب بخواصه المغناطيسية الفعّالة على تقليل فواقد قلب المحرك. كما يساعد استخدام العديد من الموصلات الكبيرة من الجزء الإستاتيكي - المخدة - (Stator) أو العضو الدوّار(Rotor) على تقليل المقاومة الداخلية، وبالتالي زيادة الكفاءة. ويعتبر الاهتمام بالتحكم أو تقليل الفراغ الهوائي بين كل من الجزء الإستاتيكي والدوّار من العوامل المهمة في تقليل التيار المغناطيسي المطلوب لباديء الحركة، وبالتالي تقليل الفواقد. أخيراً، من الأرجح أن تتحسن كفاءة المحرك بتحسن معامل نقل القدرة عن طريق استخدام أسلاك ذات أحجام صغيرة لنقل القدرة إلى المحرك.

وتعتمد كفاءة المحرك الفعلية على اختيار حجم المحرك المناسب للحمل المناسب. فقد تصل كفاءة المحرك إلى أقصاها عند تشغيل المحرك مع حمل قريب من الحمل المسموح به. وقد تنخفض كفاءة المحرك جذريًا عند تشغيل المحرك مثلاً على حمل أقل من ٧٥٪ من الحمل الكامل. وقد تنخفض الكفاءة بسرعة بالمثل عند التحميل الزائد. وقد تنخفض كفاءة المحرك أيضًا عند التشغيل مع جهد كهربي أقل من الجهد الموصى باستخدامه. وقد لايحدث انخفاض في الكفاءة فقط، بل قد يحدث أيضًا انخفاض في قيمة العزم. وقد يحدث انخفاض في معامل القدرة أيضًا نتيجة تحميل المحرك بحمل أقل من الحمل الموصى به. ففي الحقيقة قد ينخفض معامل القدرة بسرعة بانخفاض الحمل على المحرك عن قيمة الحمل الكامل.

ويمكن حساب تكلفة استخدام محرك بكفاءة منخفضة بفرض استخدام عدد ٢ محرك لهما نفس الحجم لتشغيل مراوح، الطاقة المتولدة من كل منهما ٣٩٠ واط (٠,٥٢ حصان). وكانت كفاءة أحد المحركين ٧٠٪ - يحتمل أن يكون محركًا أحادي الطور - بينما كانت كفاءة المحرك الآخر ٥٥٪ - يمكن أن يكون محركًا مجزأ الأطوار. وبفرض أن تكلفة الطاقة الكهربائية ٠,٠٤ دولار/ (ك واط. ساعة) ومعامل تشغيل المروحة ٠,٦، فإن كفاءة المروحة (٧٠٪) سوف تسحب ٥٥٧ واط، وسوف تكون التكلفة أثناء سنة من التشغيل ١١٧ دولارًا. وسوف يسحب المحرك ذوالكفاءة (٥٥٪) حوالي ٧٠٩ واط، وسوف تكلف سنة من التشغيل ١٤٩ دولارًا. وقد يعوض الفرق ٣٢ دولارًا - في سنة واحدة - الفرق في التكاليف الثابتة بالنسبة للمحركين. وهناك - بالإضافة إلى توفير استخدام الكهرباء - توفير إضافي من متطلبات الكهرباء المنخفضة وسريان التيار المنخفض نتيجة لارتباطه بأحجام الأسلاك المطلوبة عند التوصيل مع المروحة.

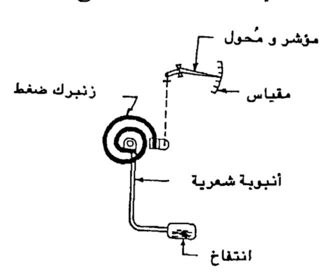
أجهزة التحكم في التهوية
(VENTILATION EQUIPMENT CONTROLS)

أدوات تنظيم الحرارة آليًا (Thermostates)

تعتبر وحدات الحس الحراري - الثرموستات- من أكثر أنواع وحدات التحكم شيوعًا في نظم التهوية بالنسبة للتطبيقات الزراعية. والوحدة عبارة عن مفتاح حساس

للحرارة يتكون من عنصر الحس الحراري ومفتاح كهربائي لفصل أو وصل الطاقة الكهربائية إلى أجهزة التدفئة. وهناك ثلاثة أنواع من عناصر الإحساس الشائعة الاستخدام في معظم التطبيقات الزراعية: امتلاء بخاري وامتلاء سائلي وازدواج معدني.

امتلاء سائلي (Liquid Filled). يتكون عنصر الإحساس في هذا النوع من حلزون ضغط أو انتفاخات وأنبوبة شعرية وبصيّلة إحساس، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (٤ ,٤). ويتمدد السائل مع تمدد أوانقباض النظام على حسب درجة الحرارة، والتي بدورها تعمل على إدارة مفتاح التشغيل.



شكل (٤ ,٤). منظم حراري يعمل بواسطة سائل أو بخار

وتعتبر علاقة معامل تمدد السائل خطية، كما يوفر عنصر قدرة الامتلاء السائلي قوة تحويل كافية ودقيقة نسبيًا. ويوجد لدى العناصر ذات المحتوى السائلي نسبة خطأ منخفضة، وتغطي مدى واسعًا من درجات الحرارة. و يعتبر استخدام ذلك النوع ملائمًا بالنسبة للتطبيقات المتعرضة لدرجات حرارة مرتفعة نسبيًا، أو الظروف التي قد تتخللها في بعض الأحيان درجة حرارة الجو.

وتعتبر البصيّلة نقطة الإحساس الأولية أو نقطة التحكم؛ نظرًا لاحتوائها على حجم من السائل كبير نسبيًا، وذلك بالمقارنة بالأنبوبة الشعرية. وهناك أطوال عديدة متوافرة من الأنابيب الشعرية والتي تسمح بالحس عن بعد.

وعامة يوجد تأخير جوهري بالنسبة لمدى استجابة وحدة الحس الحراري التي تحتوي على بصيّلة ذات محتوى سائلي عن الوحدات التي تحتوي على بصيلات ذات امتلاء بخاري. ويرجع السبب في ذلك إلى علاقة كتلة المادة بالنسبة لمساحة البصيّلة السطحية. وسوف يتولد عن خطأ في المعايرة كسر أو تلف ميكانيكي بالنسبة للبصيّلة، والذي بدوره يؤدي إلى تلف الوحدة. ويتم تصنيع تصميمات عديدة تصلح للعديد من التطبيقات والمستويات المختلفة من درجات الحرارة. وقد ينتج عن تعرض البصيلة لدرجات حرارة زائدة تلف دائم للانتفاخ، وإلى فقد دقة عنصر القدرة.

عناصر قدرة الامتلاء البخاري (Vapor Filled Power Elements).

تُستخدم عناصر الامتلاء البخاري أساسًا مع أجهزة التحكم في التهوية والتدفئة في مباني الإنتاج الحيواني والنباتي. ويحتوي عنصر قدرة الامتلاء البخاري على نفس عناصر الامتلاء السائلي باستثناء وجود مخلوط من بخار-سائل بدلاً من سائل فقط. وتستخدم في صناعة أجزاء هذه الأداة مواد أخف من المواد المستخدمة مع النوع السابق؛ نظرًا لانخفاض ضغط البخار الناتج من التحول من صورة إلى أخرى عن الضغط الناتج من تمدد السائل فقط. ويتم تزويد قوى التحويل بواسطة ضغط البخار الذي يتناسب مع درجة الحرارة مادام يوجد بعض السائل في النظام.

وتعتبر عناصر الامتلاء البخاري أقل عرضةً لفقدان الدقة والمعايرة أو حتى التلف الميكانيكي للبصيّلة؛ نظرًا لأن ضغط البخار يتيح قوة تحول صغيرة، وذلك بالمقارنة بقوى التحول المتولدة في الوحدات ذات الامتلاء السائلي. وتعتبر أيضًا أقل عرضةً للتلف عند درجات الحرارة الزائدة. وقد تتأثر معايرة أجهزة القياس بالتغيرات في الضغوط الجوية، ولكن عامةً لا يعتبر ذلك جوهريًا بالنسبة للتطبيقات الزراعية.

وتتضمن العناصر القياسية لهذا النوع خصائص انخفاض مستوى درجة الحرارة في عنصر الإحساس الخاص بالتحكم في درجة الحرارة. وتكون درجة حرارة التحول هي درجة حرارة الانتفاخ وليست البصيّلة إذا كان لدى الانتفاخات درجة حرارة أقل من درجة حرارة البصيلة. ونتيجةً لذلك، فإنه لابد - للحس عن بعد - من استخدام عنصر خاص مرتبط بالجو الخارجي، حيث موضع الثرموستات في الجو البارد. ولابد من تركيب الانتفاخات المرتبطة بالجو الخارجي في مواضع يتم اختيارها بناءً على توصيات من المصانع.

وتعتبر خفة وزن أجزاء الحس في هذا النظام ميزة عظيمة في تصميم ثرموستات التهوية. فتتم عملية الإحساس بكفاءة عالية لأي تغيّر بسيط في درجة الحرارة نتيجةً للتصميم الجيد والناتج من وجود معظم حجم السائل- بخار داخل الانتفاخ مع الاحتفاظ بدرجة حرارة أعلى درجة أو درجتين عن درجة حرارة عنصر الإحساس. وتبدأ درجة الحرارة في الخزان في الارتفاع تدريجيًا باستخدام طوق ذي كمية حرارة قليلة جداً ، ويكتسب طاقته عندما يكون الانتفاخ في الوضع المفتوح.

عنصر قدرة الازدواج المعدني (Bi-metalic Power Element) . جهاز حس الحرارة ذو الازدواج المعدني- كما تتضمن التسمية - عبارة عن شريط معدني مزدوج يتأثر بتغيّر درجة الحرارة. وفي بعض الأحيان يكون عنصر القدرة أيضًا مركبة تحويل تسمح بتصنيع أجهزة حس حراري من ازدواجات معدنية غير مكلفة على الإطلاق.

وتعتمد قوى التحول على كتلة وطريقة تصميم العنصر. فمن المرغوب أن تكون كتلة العنصر صغيرةً جداً حتى تحدث استجابة سريعة للمتغيّرات. ونتيجةً لذلك نجد ارتباط قوة التحول الصغيرة بدقة وسرعة استجابة عناصر الازدواج المعدني. وتستخدم عناصر الازدواج المعدني أساسًا للتوصيل مع كل من مفاتيح زئبقية ومفاتيح تلامس عائمة، وفي المواضع التي تكون دقة الاستجابة السريعة غير حرجة.

وتعتبر عناصر الإحساس الحراري ذات الازدواجات المعدنية غير شائعة الاستخدام في العمليات الزراعية خاصةً في مجال التحكم في الأجهزة، مع أن تركيب المفتاح الزئبقي شائع الاستخدام في التطبيقات المنزلية. وتعمل الغازات المتولدة في البيئات الزراعية على التأثير السريع على معايرة جهاز الحس الحراري. ويؤدي تعرض الجهاز إلى درجات حرارة عالية إلى تلف دائم لعنصر الإحساس مع افتقار المعايرة.

وتعتبر عناصر الإحساس ذات الازدواجات المعدنية - مثلها مثل الثرموستات القرصية - شائعة الاستخدام كأدوات أمان، بالنسبة لأجهزة التدفئة، ومع مفاتيح أخرى في الأماكن التي لاتتطلب دقة تحذيرية عالية، أو التي يكون عدد دورات الفتح والغلق منخفضًا نسبيًا.

الدقة - فرقية وتأخّرية (Accuracy, Differential and Lag) . تعرف الدقة على أنها عدد مرات الدورات التكرارية لفتح وغلق المفتاح الكهربائي، وكذلك مدى القرب من النقطة المضبوطة عليها درجة الحرارة المرغوبة. وغالبًا مايحدث تشويش للدقة مع التحويلات الفرقية. ويترتب على هذا التشويش أن المصانع لاتنشر أي شيء عن الدقة. ومعظم أجهزة الحس الحراري الشائعة الاستخدام ذات دورات تكرارية عالية، ولكن قد تتغيّر الدرجة المرغوبة بعض الشيء عن درجة الحرارة المعايرة. ويمكن معايرة درجة الحرارة المرغوبة لأنواع من أجهزة الحس الحراري، ولكن لابد من استخدام أسلوب المفتاح - فتح وغلق- باتساق.

ومع أن معظم المصانع لاتنشر شيئًا عن الدقة، إلا أنه يتم تزويد تلك المعلومات عند الرغبة. فتحدد بعض المصانع دقة أجهزة الحس الحراري الخاصة بالتحكم في التهوية في حدود ± ١ °م، وهي دقةٌ كافيةٌ لمعظم مباني الإنتاج الحيواني والنباتي. وقد يكون من المرغوب الحصول على دقة أعلى بالنسبة لبعض تطبيقات تخزين المحاصيل مثل البطاطس. ولكن قد تكون هناك تغيّرات كبيرة في درجة الحرارة خلال العديد من الحيزات، وقد تكون زيادة دقة الجهاز في تلك الحالات أمرًا غير عملي.

وتتضمن معظم أجهزة الحس الحراري بالنسبة للأغراض الزراعية مفاتيح غلق فجائي (snap action) تعمل بصلابة على التفريق بين نقط ارتفاع درجة الحرارة (فصل الأجهزة) أو انخفاض درجة الحرارة (تشغيل الأجهزة). ويُنشر هذا الفرق في أدلة معظم أجهزة الحس الحراري، وقد يكون هذا الفرق قابلاً للخفض في الاستخدام الحقلي في مدى محدد بالنسبة لبعض الأنواع.

ومن المرغوب في العديد من التطبيقات الحصول على تحويل فرقي. ويمكن حدوث دوران سريع للجهاز مع قليل من التباين، مما قد يسبب تلفًا سريعًا لنقط التلامس. ويعتبر مفتاح ذو فرق ١ °م شائع الاستخدام مع أجهزة التهوية. وقد يكون الفرق ٣ إلى ٤ °م طبيعيًا مع أجهزة الحس الحراري ذات المدى الواسع والمستخدمة مثلاً في تجفيف المحاصيل، وغيره.

وتستخدم أجهزة قياس التأخر عند تذبذب درجات الحرارة. ويتوقف مدى امتداد التأخر على كل من نوع عنصر الإحساس والتصميم. ولاتوجد أشكال خاصة منشورة بالنسبة لأداء التأخر، ولكن قد تساعد معظم المصانع على اختيار نوع الجهاز

بتزويد نسب أداء العديد من التصميمات .

ويعتبر ما يسمى "تأثير الدورة الأولى" مرتبطًا مع التأخر. فقد يكون من الضروري تصحيح درجة حرارة النظام في مدى واسع عند بدأ التشغيل، وقد يكون تأخر جهاز الحس الحراري أكبر مما يجب بالنسبة لدورة طبيعية حول الدرجة المرغوبة. فقد يوجد تجاوز إلى الخلف بالنسبة لتحديد أول درجة حرارة مرغوبة.

المـــدى (Range) . تُصمّم أجهزة الحس الحراري لتغطي المدى من درجات الحرارة المنشورة في الدليل قرين كل جهاز. ويتوقع أن يكون أداء تلك الأجهزة - مثلها مثل غيرها من الأجهزة - الأفضل عند منتصف المدى الذي تعمل من خلاله. ويتوقع أن تكون دقة التشغيل منخفضة عند الحدود سواء القصوى أو الدنيا للمدى.

المفـــاتيح (Switches) . تعتبر المفاتيح من الأنواع (snap acting, micro switch, and line voltage) من أكثر أنواع المفاتيح ملاءمةً بالنسبة للتطبيقات الزراعية. وتتطلب نقط التلامس العائمة لنظم جهد-٢٤ قوى فتح وغلق أقل، ولكن يعتبر هذا النوع عرضة للاصطكاك نتيجةً للتلف السريع لنقط التلامس. وعادة تنتشر تلك العملية في شكل خط من التلفيات، بحيث يمكن أن تسبب مشاكل مع الأجهزة الأخرى المرتبطة، خاصةً مع الأجهزة ذات حالات التشغيل الثابتة.

وتوجد أنواع عديدة من المفاتيح المتوافرة للتجهيز مع الأجهزة التي تعمل مع فرق جهد ١٢٠ و٢٣٠ ڤولت. ويجب موافقة جهد وسعة تيار المفتاح بعناية مع أحمال النظام. وتعتبر معظم مفاتيح أجهزة الحس الحراري من النوع أحادي القطب ذات سعات محدودة، بينما يستخدم النظام ثلاثي الطور مع الأحمال الثقيلة مثل المحركات الكهربائية الكبيرة مع مراعاة استخدام مُرَحل للتحكم في الجهاز الرئيسي.

وقد تضم بعض أجهزة الحس الحراري أكثر من مفتاح واحد من النوع "micro switch" مع ضبط أو المحافظة على فرق درجات الحرارة بين المفاتيح. ويمكن استخدام ذلك في توالي أكثر من قطعة في جهاز أو في التحكم في مراوح ذات سرعات متعددة.

وتوجد من أشكال المفاتيح المتاحة أيضًا الأنواع "قطب مفرد-أحادي القذفة" (single pole-single throw) و "قطب مفرد-مزدوج القذفة" (single pole-double throw) . ويمتاز النوع الثاني من المفاتيح بإمكانية التركيب بالنسبة لأي من الغلق

أو الفتح الطبيعيين، بينما لابد من اختيار النوع الأول عند استخدام أسلوب تشغيل محدد .

موضع أجهزة الحس الحراري (الثرموستات) (Sensing Location). لابد من التفكير بجدية عند اختيار موضع الثرموستات للحصول على تحكم موثوق فيه بالنسبة للوسط المرتبط بالعملية أو المنتج المستخدم. فيتم استخدام الثرموستات في معظم مباني الإنتاج الحيواني والنباتي للتحكم في مستويات التهوية والحرارة المرغوبة خلال الحيز، كما يستخدم أيضًا للتحكم في أجهزة التدفئة ودرجة حرارة الهواء الداخل إلى المنتج .

ومن الناحية الاقتصادية يجب تركيب عنصر الإحساس بالقرب من مستوى النبات أو الحيوان لتتم عملية حس درجة الحرارة المتعرض لها الحيوان أو النبات. ولكن يصعب في معظم الأحوال خاصةً في تلك المتضمنة الإنتاج الحيواني وضع جهاز الإحساس عند مستوى الحيوان لتجنب أي كسر أو تلفيات. فيتم وضع الجهاز مثلاً عند مستوى أعلى قليلاً مع افتراض أن درجة الحرارة عند هذا المستوى تمثل درجة الحرارة المرغوبة .

ويعتبر من المهم أيضًا اختيار موضع الثرموستات. وقد تتكون داخل المنشأة نتيجة للتهوية السيئة مناطق بها تيار هوائي ومناطق أخرى ساكنة. وقد لاتمثل درجة الحرارة المقاسة عند تركيب الثرموستات في أي من الموضعين درجة الحرارة الفعلية؛ نظرًا لاختلاف درجة الحرارة بينهما .

ويجب أيضًا توخي الحذر عند اختيار موضع الثرموستات، حيث من المهم مراعاة عدم التأثر بدرجة الحرارة الخارجية. فقد تتأثر وحدة الإحساس، ومن ثم درجة الحرارة المضبوط عليها الثرموستات عند تعرض الجهاز لأشعة الشمس المباشرة نتيجة التركيب مثلاً بالقرب من نافذة. وقد تساهم ملاصقة وحدة الإحساس لحائط خارجي أيضًا في عدم دقة التحكم في درجة الحرارة .

ولابد أيضًا عند تركيب جهاز الحس الحراري من تفادي المساحات التي في مقدمة الدفايات أو مداخل الهواء، حيث تعتبر تلك المناطق غير ممثلة لدرجة حرارة الوسط. ويمكن اختيار مكان تركيب الجهاز في المنطقة التي تلي التقاء كل من الهواء

الداخل مع الهواء الدافيء، بحيث توجد فرصة للخلط بينهما مع استقرار واضح في درجة الحرارة. ويعتبر المكان البعيد عن متناول الحيوان وتيار الهواء الداخل وفتحات الدفايات وبالقرب من منتصف المبنى من الأماكن الجيدة لتركيب جهاز الحس الحراري. ويمكن تطبيق نفس المنطق بالنسبة للبيوت المحمية مع الأخذ في الاعتبار المساحات المخصصة لكل من العمالة والأجهزة مع توفير الحماية للثرموستات من أشعة الشمس.

مرة أخرى، من المهم عند استخدام الثرموستات لحس درجة حرارة هواء مار في ماسورة تهوية أن يتم الحصول على قراءة ممثلة للهواء الداخل. ويجب اختيار موضع الحس في مكان ما في حالة إضافة حرارة أو في حالة عملية خلط لكميات ذات تأثير جوهري من الهواء البارد والساخن، وذلك بعد الوصول إلى الخلط الجيد. فعلى سبيل المثال، يجب تجنب تركيب عنصر الإحساس في مكان قريب من مخرج جهاز تدفئة.

أجهزة حس الرطوبة

(HUMIDISTATS)

يعتبر جهاز حس الرطوبة مماثلاً لجهاز حس الحرارة باستثناء أن عنصر الإحساس المستخدم يحس نسبة الرطوبة بدلاً من درجة الحرارة. وتحتوي وحدة الإحساس على جزء يتمدد وينكمش على حسب الرطوبة النسبية للهواء، وفي الغالب مايكون مصنوعًا من شعر الإنسان. وفي الغالب لا تكون استطالة معظم المواد خطية من صفر إلى ١٠٠٪. وقد يكون الشعر في حدوده المقبولة عند رطوبات منخفضة ومتوسطة. ويعتبر استخدام زُبدات خَلاّت السِّلولوز أكثر دقةً عند الرطوبات المرتفعة للهواء كما هي الحال في مخازن البطاطس.

ويتبع آلية فصل أو وصل القدرة بالنسبة لجهاز حس الرطوبة نفس الشيء الخاص بجهاز حس الحرارة. فلابد لعناصر القدرة أن تكون قادرة على إرسال قوة إلى مسافة كافية لتشغيل- مع سرعة استجابة- مفتاح الغلق الفجائي. وسوف يُعطي ضم عنصر القدرة مع مفتاح الغلق الفجائي تحويلاً فرقيًا ملازمًا، عادة ± ٤٪.

ويوجد نوع آخر وهو مقياس الرطوبة الكهربائي الذي يعتمد في عمله على التغيّر في المقاومة الكهربائية لوحدة الإحساس مع تغيّر الرطوبة النسبية. وتعتمد أجهزة حس الرطوبة من هذا النوع – وهي الأكثر شيوعًا – على علاقة فريدة بين تركيز محلول ملحي والرطوبة النسبية. وقد يحدث عند تغيّر الرطوبة إما تبخير أو تكثيف للماء على سطح الملح، مما يؤدي إلى تكون طبقة سطحية رقيقة محصورة بقيمة توازن جديدة. وقد يؤثر التغيّر بدوره على التوصيل الكهربائي للسطح، والذي يمكن قياسه لإيجاد الرطوبة.

ومن المشاكل الرئيسية التي تواجه تلك الوحدات الحصول على طبقة ملائمة من المحلول الكهربائي، ومحاولة المحافظة عليها في مكانها نظيفة. فقد يأخذ المحلول الكهربائي عند مستويات مرتفعة من الرطوبة كميات كبيرة من المياه، وقد يحدث تنقيط للماء حاملاً معه المحلول الكهربائي. وقد يؤدي تلوث السطح بجسيمات نواتج الاحتراق أو الغازات إلى زحزحة حادة للمعايرة.

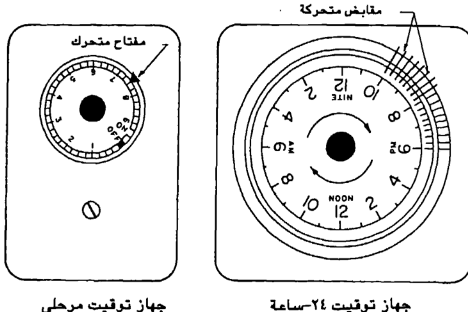
وتعتبر المحافظة على معايرة وحدات أجهزة حس الرطوبة المشكلة التقليدية. فيؤثر تجمع الأتربة والمواد الكيمياوية على الجزء الحساس تأثيرًا مباشرًا على الاستجابة. وقد تُسبب الحشرات والتلفيّات لوحدة القدرة أيضًا إزاحة للقراءات المستخدمة في المعايرة. ولابد – للحصول على أفضل أداء للجهاز – من المحافظة عليه نظيفًا بقدر الإمكان.

أجهزة التوقيت

(TIMERS)

تعتبر أجهزة التوقيت الدورية – أو ذات الفترات المنتظمة – وأجهزة التوقيت ٢٤- ساعة من أكثر أنواع أجهزة التوقيت الشائعة الاستخدام للتحكم الأساسي في أجهزة التهوية. ويوضح الشكل رقم (٤,٥) تلك الأجهزة. ولكن يمكن إيجاد أنواع

أخرى من أجهزة التوقيت تُستخدم مع بعض أجهزة التهوية. وأجهزة التوقيت على فترات و أجهزة التوقيت ٢٤-ساعة عبارة عن مفاتيح غلق-فتح كهربائية تعمل بمحرك كهربائي ذي توقيت أو تزامن بسيطين. وتعمل ميكانيكية التوقيت في جهاز التوقيت لفة كاملة كل فترة زمنية. وتوجد أجهزة توقيت يتم ضبطها على فترات ٥ و ١٠ و ١٥ دقيقة و ١ و ٢ و ٤ ساعة. ويوجد أثناء تشغيل الجهاز فترة واحدة في أسلوب التشغيل وفترة أخرى موازنة في أسلوب الإيقاف. ويمكن ضبط الفترة التي يكون الجهاز فيها



شكل (٥,٤). أجهزة توقيت نموذجية بالنسبة لتطبيقات التهوية في الزراعة.

في أسلوب التشغيل بين كل من فترة التشغيل الكامل أو الإيقاف الكامل. وتعتبر أجهزة التوقيت التي تعمل على فترات كل منها عشر دقائق الأكثر شيوعًا في تطبيقات التهوية، كما تستخدم أيضًا كوسيلة للحصول على أقل معدل تهوية في الشتاء بجعل المروحة تعمل على أقل نسبة مختارة من الوقت. وتعمل أجهزة التوقيت المستخدمة ببساطة جنبًا إلى جنب مع أجهزة الحس الحراري. ولكن يُفضل معظم القائمين على العمل- مع ظهور المراوح ذات السرعات المختلفة- استخدام المراوح التي تعمل باستمرار عند معدل تهوية منخفض بدلاً من التهوية على فترات.

وتعمل عجلة الساعة في جهاز التوقيت المقسم إلى ٢٤-ساعة دورة كاملة كل ٢٤ ساعة. وتحتوي تلك العجلة على أسنان مركبة حول الحافة الخارجية لسطح الساعة المتحرك، بحيث تحدث عملية التشغيل أو الفصل للحركة فقط عند اتصال هذا السن مع مفتاح فصل ووصل الحركة. وفي الغالب ما يكون هذا النوع مضبوطًا كل ١٥ دقيقة . ويتم باستخدام أي أعداد من هذه السنون فصل أو وصل الحركة العدد المرغوب من المرات في اليوم. وتوجد أيضًا أجهزة التوقيت التي تحتوي على سنَّين فقط بحيث يُستخدم أحدهما لوصل الحركة والآخر لفصلها. ويمتاز هذا النوع من الأجهزة بإمكانية التحكم في فترتي تشغيل وإيقاف المروحة كلٌ على حدة، بحيث يمكن تغيير أي منهما دون الآخر . فيمكن على حسب الحالة زيادة أو تقليل فترة التشغيل عن فترة الإيقاف. ويمكن أيضًا مع هذا النوع من السنون التحكم في عدد فترات الفصل أوالوصل على مدار اليوم الكامل.

وتعتبر عملية ضبط التهوية في مخازن البطاطس أحد المناطق التي يتم فيها استخدام جهاز توقيت ٢٤-ساعة. ويمكن بمجرد تكييف أكوام البطاطس عند درجة الحرارة المرغوبة خفض معدل التهوية خفضًا جذريًا واستخدام طريقة التشغيل المتقطع للتحكم في درجة الحرارة.

ولابد من الأخذ في الاعتبار المعدلات الكهربائية الخاصة بكل من آلية الساعة والمفتاح عند اختيار جهاز التوقيت وعند تصميم النظام الكهربائي. ويكون النظام الكهربائي طبيعيًا "نظيف" إذا استخدم مع كل من الساعة والمفتاح نفس فرق الجهد الكهربائي.

وتتوافر أجهزة التوقيت عند معدلات ١١٥ و٢٣٠ ڤولت، بينما عادة تتوافر المفاتيح عند ٢٣٠ ڤولت، بحيث يمكن استخدامها أيضًا عند ١١٠ ڤولت. ولابد من مراعاة سعة تيار المفتاح مع تصميم النظام الكهربائي. ومع أنه يوجد لدى المفاتيح سعة كهربائية كافية بالنسبة للمحركات الكهربائية الصغيرة، إلا أنه لابد من استخدام مُرَحل مع المحركات الكبيرة، ومع النظم ثلاثية الأطوار.

محركات المصاريع والمضاءلات
(SHUTTERS AND DAMPERS MOTORS)

تستخدم المصاريع والمضاءلات للتحكم في سريان الهواء في مداخل ومخارج الهواء في المنشآت المهواة. ويتم تركيب الحواجز الهوائية ذات الستائر المعدنية أو الريش الخفيفة الوزن في مقدمة المراوح السالبة الضغط لمنع هواء الرياح من دخول المبنى في حالة إيقاف المروحة. وقد لاتقتضي الحاجة توصيل تلك الحواجز بمحرك التشغيل. فقد تكون سرعة الهواء والضغط الاستاتيكي الناتج من دوران المروحة كافيين لرفع الستائر والسماح للهواء بالدخول إلى المبنى. ويوصى بالنسبة للأنواع الأخرى من الحواجز بإتاحة استخدام أجهزة تحكم لهذه الستائر. فيوصى باستخدام محرك دوّار بالنسبة للحواجز الثقيلة الوزن للحصول على كفاءة تشغيل مرتفعة. ويتم توصيل الكهرباء إلى المحرك الخاص بالستائر على التوازي مع محرك المروحة بحيث يعملان أو يفصلان سويًا.

وقد تتطلب عملية التشغيل في حالة استخدام مصاريع خفيفة الوزن في أي من الفتح أو الغلق الكامل استخدام محرك كهربائي ذي عزم منخفض من النوع "Stall-type" . ويعتبر هذا المحرك أحادي الطور، ويمكن تشغيله في ظروف قد تتطلب وقفًا فجائيًا للحركة بدون تلف للمحرك نفسه. ويتصل ذراع عزم عمود الإدارة بالمصراع من خلال وصلة. ويكون الذراع محمولاً على زنبرك بحيث يمكن الرجوع إلى وضع فصل الحركة عند إيقاف المحرك الكهربائي. ويدور العمود وذراع العزم عند تشغيل المحرك لتحريك المصراع خلال وصلة التشغيل حتى يصل إلى حدود الدوران. ويتوافر لدى موردي تلك المصاريع نوعان من تلك المحركات ١١٥ و٢٣٠ ڤولت.

وتعتبر محركات المصاريع شائعة التوصيل على التوازي مع محركات المروحة. فينفتح المصراع بواسطة بادىء التشغيل عند تشغيل جهاز الحس الحراري للمروحة، كما يعمل زنبرك العودة على قفل المصراع عند فصل حركة المروحة.

وقد قامت عدة شركات بتطوير بادئات حركة دورانية أكثر تعقيدًا عن تلك المستخدمة مع المحرك من النوع "Stall-type" . وقد تم توصيل تلك الوحدات لتعمل من خلال قوس حتى ٢٤٠ درجة. ويتم تجهيز الأنواع "غلق-فتح" أيضًا بمفاتيح إعادة إيقاف عند نهاية مشوار الحركة .

وتُصمم معظم بادئات التشغيل الدورانية في اتجاهين مع توافر اختيار زنبرك

العودة أيضًا. ويعتبر هذا التجهيز مهمًا جدًا في بعض التطبيقات؛ نظرًا للقيام بتحديد اتجاه المصراع حتى في حالة فصل الحركة. وتتوافر مفاتيح مساعدة اختيارية مع بعض بادئات التشغيل الدوّارة. فقد يُحتاج إلى مفتاح مساعد في بعض الأوقات لخدمة جهاز تتابعي.

وتتوافر أجهزة تحكم من الأنواع "تشغيل-إيقاف" لتخدم ١١٥ ڤولت، ولكن لابد من ضم محوّل إلى النظام بالنسبة لمعظم الوحدات المتناسبة مع المعدل ٢٤ ڤولت. وتتوافر المعلومات عن معدلات عزوم بادئات التشغيل في أدلة المصانع مثلها مثل سمات أخرى محدودة وأجهزة اختيارية.

وتستخدم بادئات دوّارة نسبية لجعل المصاريع أو المضاءلات في مواضع بين الفتح والغلق على حسب التغيّرات من نقطة الضبط. ويدور المحرك للوصول بنظام قنطرة داخلي إلى الاتزان مع جهاز الحس الحراري أو مع متحكم إلكتروني. ويتم التحكم في تطبيقات مثل مخازن البطاطس بواسطة جهاز حس حراري. ويمكن تشغيل مصراعين أو أكثر مع بعضهما البعض باستخدام توصيلة آلية، والتي تكون مطلوبة في بعض الحالات. مثال ذلك، قد يستلزم قفل مُضاءلة هواء نقي فتح مُضاءلة تقليب لتزويد المروحة.

منطقية التحكم

(CONTROL LOGIC)

تعتبر منطقية التحكم في التهوية في الجو الدافيء مرتبطة ارتباطًا مباشرًا بأن يكون التصميم للتحكم في درجة الحرارة، وأن الاحتياج إلى تهوية إضافية يمثلها زيادة في درجة الحرارة، والتي يمكن حسها بدقة بواسطة أجهزة التحكم في درجة الحرارة.

ويعتمد التحكم في فصلي الشتاء والصيف على فرض تأثر مستوى التهوية بدرجة حرارة المبنى. ومع أن ذلك قد يكون غير صحيح من الناحية الفنية أثناء التشغيل في الجو البارد، إلا أنه يمكن المحافظة على تحكم كاف من خلال الاستخدام لمراوح ذات أحجام ملائمة يتم التحكم فيها بواسطة أجهزة حسّ لدرجات الحرارة.

ولا يوجد تحكم في التهوية عند استخدام الدفايات أثناء التشغيل في الجو البارد؛ ولكن يستخدم معدل تهوية ثابت نسبيًا بالنسبة لكثافة تربية محددة من

الحيوانات. ويعتبر ذلك المعدل أقل معدل أساسي ويعتمد أساسًا على وزن الحيوان. ولابد من تعديل أقل معدل للتهوية الأساسي يدويًا عند استخدام أجهزة تحكم تجارية.

وتوجد بعض المنطقية في التحكم في التهوية بواسطة أجهزة حس الرطوبة إذا تم تصميم معدل التهوية في الجو البارد للتحكم في الرطوبة. وغالبًا مايكون جهاز حس الرطوبة عرضةً لمشاكل التشغيل، وقد لاتتوافر تجاريًا أجهزة حس رطوبة ذات سرعات متغيّرة. ولاتعتبر الرطوبة أيضًا مقياسًا لمتطلبات التهوية بالنسبة للنظم المصممة للتحكم في الروائح الكريهة أثناء التشغيل في الجو البارد. ويرجع السبب في ذلك إلى ارتفاع معدلات سريان الهواء في تلك الحالة عن المعدل المطلوب للتحكم في الرطوبة، مما قد يؤدي إلى فقدان كفاءة جهاز حس الرطوبة للتحكم في التهوية.

مفاهيم أمنية (Safety Aspects) . لابد من أخذ الاحتياطات الجادة عند تصميم نظام كلي؛ نظرًا لأن معظم الأجهزة الكهربائية والميكانيكية وأجهزة التحكم عرضةً للفشل في الأداء. ويجب أخذ انقطاع التيار الكهربائي باهتمام أكبر من مجرد للتحكم. ولابد أيضًا في تلك الحالة من أخذ نظام التحكم في الاعتبار.

وسوف ينتج عن انقطاع التيار الكهربائي في فترة تشغيل في جو حار ارتفاع في درجة الحرارة. ويمكن تلافي ذلك عن طريق توصيل جهاز حس الحرارة بدوائر إنذار أو مصدر تيار كهربائي مساعد، وهكذا. ويمكن أن يؤدي انقطاع التيار الكهربائي في بعض الأوقات في الشتاء إلى نفس النتائج المؤثرة كالتي تحدث في الصيف. فقد تكون درجات الحرارة المنخفضة مهلكةً لبعض الحيوانات والنباتات. ويمكن استخدام مُرَحل لدائرة الكهرباء أوجهاز حس الحرارة لتشغيل دائرة إنذار.

ويعتبر "الأمان في التعددية" المفهوم البسيط نسبيًا لتقليل المخاطر الناجمة عن إخفاق مركبة ما داخل نظام في أداء مهمتها. فلا يمكن في الظروف الحرجة الاعتماد في نظام التشغيل الكلي على أداء وحدة تحكم مفردة أو على جهاز معين. فيتضمن التصميم الجيد أخذ الاحتياط بكافة أنواعه. فمثلاً يجب أن لا يتم التحكم في مروحتين في حيز حرج على جهاز حس حراري مفرد. فيتيح استخدام التحكمات المزدوجة والدوائر الكهربائية وغيره مثلاً عنصراً من عناصر الأمان.

أجهزة التحكم ذات السرعات المتغيرة
(VARI-SPEEDS CONTROLS)

يعتبر حاليًا جهاز التحكم ذو الطور الإلكتروني والحالة الثابتة من أكثر أنواع أجهزة التحكم ذات السرعات المتغيرة والشائعة الاستخدام. فيعمل "مثلث ج" في جهاز التحكم على فصل التيار الكهربائي كل نصف موجة في فترة قصيرة من الوقت. ويؤدي ذلك إلى تقليل كفاءة الجهد الكهربائي الواصل إلى المحرك، وبالتالي إلى تغير سرعة المحرك. ويعتبر هذا النوع من التحكم ذا كفاءة؛ نظرًا لعدم فقد التيار الذي تم فصله في نصف الموجة.

ومع أن العديد من المحركات سوف تدار لفترة زمنية قصيرة مع عرض لبعض درجات التعديل، إلا أنه يجب مع جهاز التحكم استخدام محرك ذي مكثف منفصل دائم التحميل. ولابد حتى يكون أداء المحرك جيدًا من توافر جهد كهربائي كاف لزيادة السرعة. ولابد أن يكون المحرك أيضًا قادرًا على العمل عند جهود كهربائية منخفضة بدون التعرض للتلف من التحميل الزائد، وغيره.

ويتم تصنيع أجهزة الحس والتحكم في درجة الحرارة اليدوية منها والآلية. وتستخدم أجهزة التحكم اليدوية في تطبيقات محدودة، ولكنها قد تكون مرغوبةً جدًا في بعض التطبيقات الأخرى كما في عمليات الحلب. ويتم حس درجة الحرارة بجهاز الحس والتحكم الآلي عن طريق استخدام مقاوم حراري متصل بنظام قناطر إلكترونية. فيؤدي تغيّر نقطة ضبط الجهاز إلى تغيّر الجهد الكهربائي الواصل إلى المحرك، والذي يعمل بدوره على تغيير سرعة المحرك. وفي الغالب ما يكون لأجهزة التحكم الطورية موحد تحكم يتغيّر في المدى ما بين ٣ و٦ ْم. وغالبًا لايتيح المدى الأكبر من ذلك زيادة سرعة دورات الفتح والغلق. وتتضمن الدوائر الإلكترونية جهازًا لقياس الجهد الكهربائي مع إتاحة عملية تصحيح لنقطة الضبط المرغوبة، والتي غالبًا ما تكون في منتصف موحد التشغيل.

وغالبًا ما تتضمن تلك الدوائر عملية ضبط قيمة السرعة الدنيا، بحيث يمكن التحكم في مستويات التهوية مع ضمان عدم انخفاض سرعة المحرك عن الحد اللازم. وتحدد معظم مصانع إنتاج المراوح أقل معدل تشغيل للوحدة، كما تعمل على توفير الجداول الخاصة بالعلاقة بين معدلات سريان الهواء مع سرعة المروحة

(لفة/ دقيقة). ويمكن زيادة أقل سرعة مضبوطة إذا كان أقل سريان مختار للهواء أعلى من أقل سرعة يمكن دفعها، ولكن يجب ألا تعمل المراوح عند معدلات أقل من الموصى بها. ويجب أن تتم عملية ضبط أقل سرعة للمحرك باستخدام مقياس لسرعة الدوران؛ نظراً لوجود اختلافات بين المحركات من جهة وأجهزة التحكم من جهة أخرى.

المُرَحّلات

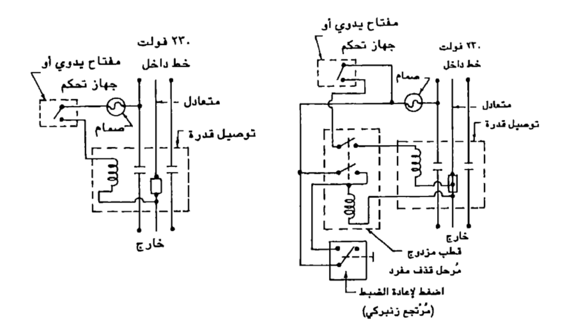
(RELAYS)

المُرَحّل ببساطة عبارة عن مفتاح تشغيل كهربائي. ويسمح المُرَحل بالتحكم في الحمل الأساسي للتيار الكهربائي المرتفع نسبيًا؛ نظرًا لأنه في الغالب ماتكون سعة دوائر التحكم الأساسية غير كافيةً للحمل الكهربائي. ويعتبر المُرَحل العمود الفقري في دوائر التحكم، حيث يمكن بواسطته التحكم عن بعد في الأجهزة وتنظيم عملية تشغيل أجهزة (interlocking) وكذلك التحكم في طرق تشغيل الأجهزة ثلاثية الأطوار، وغيرها.

ويتم التحكم في المحركات ثلاثية الأطوار باستخدام واصل مغناطيسي للحركة عبارة عن مُرَحّل ذي خدمة شاقة يتضمن وسائل حماية من الأحمال الزائدة والواقعة على المحركات. ولاتعمل تلك الطريقة على توفير فقط وسائل آلية للتحكم، ولكن تعطي أيضًا فعلاً تحويليًا إيجابيًا سريعًا مع تقليل نقط التلامس القوسية.

ومن الطبيعي أن يتم استخدام عناصر التحميل الزائد من النوع الحراري بحيث تعمل على فتح دائرةالتحكم عندما يكون التيار الكهربائي المستخدم أزيد من المطلوب. ولابد من اختيار أحجام تلك العناصر لتلائم كل تطبيق محدد. ويمكن أن تتم عملية إعادة ضبط الأحمال الزائدة إما يدويًا أو آليًا.

ويمكن توصيل بادئات الحركة إما مع "تلامس مستمر" أو "تلامس متقطع". ويتم استخدام "التلامس المستمر" بالنسبة للتحكم الآلي مع جهاز فتح وغلق دائرة ملفات بادىء الحركة. ويستخدم "التلامس المتقطع" مع بعض الأجهزة لمنع إعادة التشغيل بعد انقطاع التيار حتى يتم مراجعة الأجهزة وإعادة تشغيلها يدويًا. ويوضح الشكل رقم (٦ , ٤) هاتين الدائرتين لنوعين من أنواع بادىء الحركة.



شكل (٦,٤). دوائر "التلامس المتصل" و"التلامس المتقطع" لبادئات حركة المحركات الكهربائية.

وتوجد أنواع وأحجام مختلفة من المُرَحّلات. ويجب أن تتم عملية الاختيار بعناية بالنسبة لنوع وحجم المُرَحّل الملائم لنوع العمل. كما يجب أن تكون شدة التيار على الملفات ونقط التلامس مناسبة لنوعية العمل المطلوب أداؤه.

تغيير التردد إزاء التحكم على مراحل

(MODULATING VERSUS STEP CONTROLS)

يكون التحكم في جهاز واحد مثاليًا من الناحية النظرية عن طريق تغيير تردد الموجات الكهربائية. وغالبًا ما تكون تلك الوسيلة ذات كفاءة مرتفعة في التطبيقات الفعلية. ولكن هناك بعض القصور سواء كان ذلك طبيعيًا أو اقتصاديًا يجب أخذها في الاعتبار.

وقد يكون من الصعب في بعض الأحوال ترتيب عمل مغير التردد مع أجهزة أخرى في النظام. فلايوجد مع الحالة الثابتة بالنسبة لمروحة متعددة السرعات الجهاز

البسيط الذي يمكن استخدامه باستمرار في تحديد مثلاً تشغيل دفاية مع معدل سريان هوائي متغير. إذن، فقد يكون من الضروري تحديد المدى الذي يجب إلغاؤه بين التحكم في السرعة المتغيّرة والدفاية إلى أوسع من المرغوب، وذلك للتأكد قبل تشغيل الدفاية من أن المروحة تعمل عند سرعتها الدنيا. وتحتوي بادئات التشغيل الدورانية على مفاتيح مساعدة للتشغيل عندما يصل الدوّار إلى حد معين.

وغالبًا ماتتيح الاقتصاديات والحجم الطبيعي للأجهزة تحكيم المنطق في عملية الاختيار. وقد يكون هناك فرق جوهري صغير في سريان الهواء عند تشغيل مثلاً عشر مراوح بواسطة جهاز تحكم ذي سرعات متغيّرة. وقد لاتتوافر في مبنى كبير مروحة واحدة بحجم يلائم العمل. وقد لايكون أيضًا جيدًا بالنسبة للمباني الصغيرة استخدام عشر مراوح صغيرة الحجم مع أجهزة الحس الحراري المصاحبة.

ويقود هذا المنطق إلى التصميم المنطقي الذي غالبًا مايستخدم في العديد من نظم التهوية. فيتم توظيف مروحة متغيرة السرعات بالنسبة للمباني ذات الأحجام المتوسطة في التشغيل الشتوي عندما تكون معدلات التهوية المطلوبة منخفضة. ويعد ذلك إضافة للمراوح الثابتة التي تعمل بجهاز حس حراري في جو دافيء.

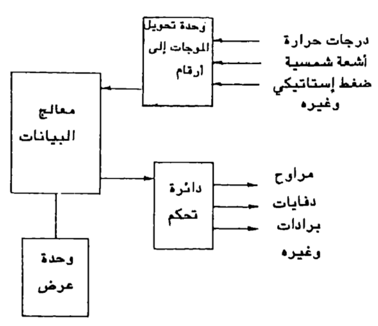
ويمكن عن طريق التحكم في كل جهاز على حدة الحصول على أحد أنواع التحكم على مراحل. فيتم مثلاً التحكم في المراوح عن طريق أجهزة حس حراري مع تغيير نقط الضبط. وقد يكون ذلك سهلاً، ولكن قد تنجم بعض المشاكل. فمن الصعب مثلاً تخطيط عملية بدأ تشغيل عشر مراوح في مدى ٦ °م نظرًا لتغير دقة التحكم.

وتوجد أنواع جديدة من أجهزة التحكم- وإن لم توجد في الأسواق بعد- لها القدرة على التغلب على المشاكل سابقة الذكر. وتعمل تلك الأجهزة بواسطة جهاز تغيير تردد مفرد يعترض سلسلة من مفاتيح فتح-غلق بالترتيب اعتمادًا على مدى التغير من النقطة المرغوبة. ويستطيع جهاز حس درجة الحرارة إيقاف نظام التدفئة عند ارتفاع درجة الحرارة، كما يستطيع أيضًا تشغيل المراوح عند الاحتياج. وتعتبر تلك المفاتيح ذات قذفة مزدوجة بحيث يمكن الحصول على أمر تشغيل أو إيقاف عند ارتفاع درجة الحرارة. ومع أنه يمكن تصور وحدة تحكم مفردة من هذا النوع قادرة على التحكم في نظام كامل، إلا أنه لابد من الأخذ في الاعتبار بعناية النتائج التي قد تتولد

عن الفشل في عملية التحكم.

التحكم في التهوية باستخدام معالج البيانات
(MICROPROCESSOR VENTILATION CONTROL)

تؤدي طرق التحكم في الظروف البيئية داخل المنشآت الزراعية باستخدام أجهزة معالجة البيانات إلى زيادة دقة التحكم. وقد أصبح في الإمكان الحصول على مستوى التحكم المطلوب بنسب تغير لاتذكر حيث تضيف تلك الأجهزة السماح باستخدام منطقية التحكم واتخاذ القرار بالإضافة إلى الوظائف الأخرى لنظم التحكم. ويتكون نظام تحكم بواسطة معالج البيانات من جهاز معالجة البيانات ووحدة تحويل البيانات ودائرة تحكم وأجهزة حس بيئية وبعض وسائل عرض وتسجيل البيانات مثل شاشة حاسوب آلي أو طبّاعة أو شريط مغناطيسي، الشكل رقم (٧,٤).



شكل (٧,٤). دائرة استخدام معالج البيانات

وتعتبر درجة حرارة الهواء الجافة ونقطة الندى وشدة الإشعاع الشمسي والضغط الإستاتيكي أمثلة عن المعلومات التي يتم استقبالها من أجهزة الحس المختلفة

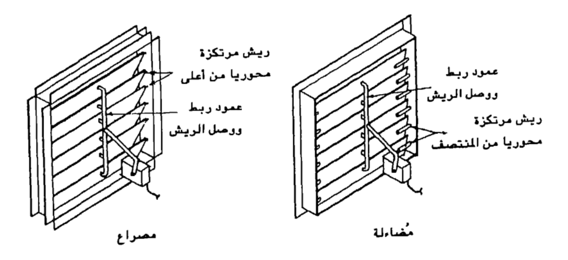
ثم تخزينها بعد تحويلها باستخدام معالج البيانات . ويقوم نظام المعالج المصّغَري بإرسال إشارات إلى دائرة التحكم التي تعمل على تشغيل أو إبطال أجهزة التحكم البيئية المختلفة مثل الدفايات والمراوح وأجهزة التبريد حتى يتم الوصول إلى الظروف البيئية المرغوبة . وتعتبر نظم التحكم بواسطة معالج البيانات خطوة مهمة ورئيسية على طريق التحكم في الظروف البيئية في الحيّز الهوائي بما تقدمه من دقة بالغة في عمليات تحكم معقدة . ويعتبر نظام التحكم باستخدام معالج البيانات النظام المتوقع استخدامه في المستقبل . ويعتبر النظام مكلفًا نسبيًا ، ولكن يتوقع أن تنخفض التكلفة مع زيادة التطور والاستخدام .

المصاريع والمُضاءلات

(SHUTTERS AND LOUVER DAMPERS)

يتم في الغالب التحكم في سريان الهواء من خلال الفتحات بواسطة مصاريع النوافذ ومثبطات الهواء ذات الستائر المعدنية . وتستخدم تلك الأجهزة مع المراوح لتجزيء سريان الهواء بين فتحات متعددة أو مواسير أو مخارج لطرد الهواء من داخل المباني ذات ضغط الهواء الإيجابي . ويوجد لكل من المصاريع والستائر ريش تسمح عند الفتح بمرور الهواء من خلال الجهاز ، كما تمنع مرور الهواء عند الغلق . ويوضح الشكل رقم (٨ , ٤) هذين الجهازين . وفي الغالب تستخدم مصاريع النوافذ لمنع رجوع تيار الهواء إلى داخل المبنى ، بينما تستخدم المُضاءلات للتحكم في معدل السريان مثل نسب خلط هواء من مصدرين مختلفين .

وتكون مصاريع النوافذ خفيفة الوزن تدور حول محور الحافة العلوية بعكس المُضاءلات . وتستخدم وحدات عالية الجودة من النيلون أو أي مواد أخرى ذات معامل احتكاك منخفض كمرتكز أو محور نهائي . ويتم تماسك الريش في الوحدات الكبيرة مع بعضها البعض بواسطة عمود مشترك . ويسمح ذلك بتشغيل كل الريش بواسطة محرك النافذة عن طريق تحريك ريشة واحدة أو العمود المشترك . ويمنع العمود المشترك الرياح أو التغيّرات في سريان الهواء من تقلب الريش واشتباكها مع بعضها البعض ، مما قد يؤدي إلى الغلق الكامل للنافذة .



شكل (٤,٨). المصاريع والمضاءلات

وسوف تُفتح النافذة الموجودة مباشرةً في مقدمة مروحة من جراء سرعة الهواء العالية والواقعة على الجزء الخلفي من الريش مع وجود تأثير بسيط لضاغط السرعة على المروحة. وقد يكون الانخفاض في سعة التهوية في أي الحالات صغيراً إلى حد الإهمال. وغالبًا مايكون الضغط الإستاتيكي في تلك الحالات كافيًا ليؤثر عكسيًا على أداء المروحة الرفاصة. ويوصى في تلك التطبيقات بتزويد المصاريع بمحركات للتحكم في سريان الهواء. وقد نوقشت تلك الأجهزة قبل ذلك في هذا الفصل. ولايعتبر استخدام تلك المصاريع ملائمًا لحجز سريان الهواء ولو جزئيًا؛ نظراً لخفة الوزن، ولكن يمكن أن تستخدم فقط مع تطبيقات الضغوط المنخفضة.

وتعتبر المُضاءلات ذات ستائر ثقيلة الوزن وذات وحدات من ريش صلبة تدور حول المركز. وغالبًا ماتكون الريش متصلة داخليًا مع عمود مشترك. وغالبًا ما يتم التشغيل بواسطة محرك تحكم نظراً لوجود المحور في المركز أو بواسطة رافعة تثبت في الوضع بين الفتح الكامل والغلق الكامل. ويمكن ربط اثنتين من تلك المُضاءلات مع بعضهما البعض، بحيث فتح إحداهما يغلق الأخرى، وذلك للحصول على خلط ذي نسب متغيرة بين مصدرين من مصادر الهواء. وتقوم المصانع بتصنيع تلك المُضاءلات على حسب الأحجام المرغوبة، وغالبًا ماتستخدم تلك الوسائل في المواسير للتحكم في سريان الهواء. كما يتم التصميم أيضًا بحيث يمكن تبديل دوران الريش في

الاتجاهات المعاكسة. وتعمل تلك الوحدات على حجز سريان الهواء دون التوجيه جهة أحد أجناب الماسورة أو تغيير اتجاه سريان الدخول بزاوية معينة.

ويعتبر الصلب والألمونيوم من أكثر المواد الشائعة الاستخدام في التصنيع بالنسبة لمثبطات الهواء ومصاريع النوافذ على الترتيب. ويمكن استخدام مواد أخرى أو الدهان بواسطة مواد طلاء خاصة على حسب الحاجة مثل مقاومة النحر أو التآكل. وسوف تتجمع الأوساخ مع أي من الوحدات على الريش ونهايات المحاور. ويوصى بعملية التنظيف الدورية لكل من المصاريع والمُضاءلات. وتعتبر عملية الصيانة الدورية مهمة للغاية خاصة مع المصاريع التي لا تعمل بواسطة المحركات. ويؤدي تراكم الأوساخ على الوحدات إلى زيادة الضاغط الإستاتيكي، وبالتالي خفض معدل الهواء المدفوع بواسطة المروحة.

نظم التدفئة

(HEATING SYSTEMS)

غالبًا ما يحتاج إلى أجهزة التدفئة في العديد من منشآت الإنتاج الحيواني، خاصةً في غرف الحلب وحظائر الحيوانات الرضيعة وبيوت الطيور الصغيرة والبيوت المحمية ومع نظم تجفيف المحاصيل ومخازن الخضر والفاكهة. ويُحتاج إلى التدفئة في العديد من تلك المنشآت للمحافظة على درجة الحرارة الداخلية. وقد يتطلب الأمر في بعض الحالات تدفئة أماكن محددة عند استخدام معدلات منخفضة من التهوية مثل أرضية الحظائر وفي أماكن تجمع الطيور وفي عمليات التجفيف. وتستخدم مشتقات البترول والفحم والخشب كمصادر رئيسية للحرارة. ويتم أيضًا في بعض المنشآت استخدام المضخات الحرارية والمبادلات الحرارية والطاقة الشمسية.

نظم هواء دافيء (Warm Air Systems)

تتضمن الوحدات المستخدمة للتدفئة داخل المباني كلاً من مواقد تدفئة وأتونّات تعمل بالجاذبية وأخرى بالهواء المدفوع والدفايات الكهربائية. وتتم عملية التدفئة مع المواقد بدون أغطية أساساً بواسطة الإشعاع. وتتم التدفئة بواسطة

الأتونّات ذات الأغطية أو الدفايات الدائرية أساسًا بواسطة الحمل. فيتم تقليب الهواء في السخان الدائري بين الموقد والغطاء من خلال فتحات عند كل من القمة والقاع.

وتعتمد نظم هواء-دافيء بواسطة الجاذبية على الحمل الطبيعي مع حركة الهواء. ولابد من وضع هذا النوع من الأتونّات عند مستوى أقل من مستوى الحيّز المراد تدفئته؛ نظرًا لأن تقليب الهواء يعتمد على الفرق في الوزن بين كل من الهواء البارد والدافيء. ويتطلب هذا النظام استخدام مواسير كبيرة يتم تركيبها بطول خط أفقي بين الأتون والمسجّل. ويُحتاج كذلك إلى مواسير لإعادة الهواء البارد بين الحيّز والأتون لتوفير تقليب جيد للهواء. ولابد من تخطيط هذا النظام بعناية للحصول على توزيع منتظم للتدفئة.

ولايحتاج الأتون في نظم هواء-دافيء مع تقليب بالدفع إلى التركيب عند مستويات أسفل الحيّزات المراد تدفئتها؛ نظرًا لوجود مروحة تقليب. ويساعد استخدام مروحة صغيرة مع هذه الأتونّات على التقليب الطبيعي للهواء وزيادة كفاءة الوحدة. ويعني ضغط الهواء الإيجابي المتولّد من المروحة إمكانية استخدام منقي للهواء ومواسير ضيقة طويلة وأفقية.

نظم ماء حار وبخار (Hot Water and Steam Systems)

قد تكون نظم استخدام ماء حار مثل نظم هواء-دافيء إما دفع مع تقليب أو دفع بواسطة الجاذبية. ويصبح الماء في نظام التسخين داخل الغلاية أقل وزنًا ويرتفع إلى أعلى نتيجة دفعه باستمرار بواسطة الماء البارد الأثقل وزنًا والداخل إلى الغلاية. ويتم دوران الماء الساخن من خلال أنابيب ومشعّات حرارية. وعادةً يوجد في نظام الدفع بواسطة الجاذبية أنبوبتان رئيسيتان، تعمل الأولى على تزويد الماء الساخن من الغلاية إلى المشعّات، بينما تعمل الأخرى على عودة الماء البارد إلى الغلاية. ولابد من تركيب الغلاية في نظام دوران الماء بواسطة الجاذبية عند مستوى أقل من أقل المشعات ارتفاعًا. ويجب تركيب الأنابيب بميول بحيث يعود الماء المتكثف مرة أخرى إلى الغلاية.

ويساعد تركيب مضخة تقليب صغيرة على زيادة حركة الماء، بحيث تكون الاستجابة لتغيّرات درجة الحرارة أسرع. ويؤدي استخدام مضخة ومحرك كهربائي وأجهزة تحكم في نظام تقليب-مدفوع إلى زيادة التكلفة عن نظام الدفع بالجاذبية؛ ولكن يمكن استخدام أنابيب أصغر؛ نظراً لإمكانية تركيب المشعّات عند مستويات أقل من مستوى الغلاية. وقد لاتحتاج الأنابيب في تلك الحالات إلى ميول في اتجاه المبادلات الحرارية. ويمكن استخدام نظام أنبوبة واحدة أو أنبوبتين. ويحتوي نظام الأنبوبتين على أنبوبة تزويد رئيسية تعمل على رفع الماء إلى كل مشع حراري. ويخدم خط الماء في نظام الأنبوبة الواحدة كلاً من عمليتي تزويد ورجوع الماء، مما يشكل دائرة مغلقة من و إلى الغلاية.

ويمكن أن تكون نظم التدفئة بالبخار إما نظام ذو أنبوبة واحدة أو أنبوبتين. ويركب محبس بخار آلي عند فتحة الرجوع لكل مشع أو مع أي وحدة تدفئة أخرى للمحافظة على البخار داخل المشع، وليسمح كذلك بالماء المتكثف في التجمع في أنابيب الرجوع. ولابد من أن يكون مستوى الغلاية أقل من أقل مستويات المشعّات ارتفاعا، إلا إذا استخدمت مضخة للعمل على إرجاع الماء المتكثف إلى الغلاية.

نظم التدفئة الكهربائية (Electric Heating Systems)

تستخدم الدفايات الكهربائية وكابلات التدفئة في تدفئة الحيّزات. ويتوافر العديد من الدفايات الكهربائية للتركيب في الأماكن المراد تدفئتها. وقد تستخدم وحدات معلقة على الحوائط أو قد يدفن في السقف كابل التدفئة.

وتعتبر المضخة الحرارية وحدة تبريد ميكانيكي تتيح تدفئة شتوية وتبريداً صيفيًا. فيتم امتصاص الحرارة في الشتاء إما من الهواء الخارجي أو الأرض أو الماء الأرضي. وتستخدم الدفايات الكهربائية في الأجواء الباردة كمصدر حراري تزويدي. وعامةً تستخدم نظم دفع هواء دافيء لتوزيع الحرارة.

المبادلات الحرارية (Heat Exchangers)

تصمم المبادلات الحرارية لامتصاص الحرارة المفقودة مع الهواء المطرود وإرجاعها مرة أخرى مع الهواء الداخل إلى المبنى. وتوجد محاولات لاستخدام

المبادلات الحرارية في حظائر الماشية، ولكن يعتبر النجاح محدوداً ؛ نظراً لصعوبة التحكم في تراكمات الثلوج المتكونة من تكثيف الماء والأوساخ من الهواء. ويوجد نوعان من المبادلات الحرارية يستخدمان مع نظم التهوية. ومن الأسماء الشائعة الاستخدام المعوِّضات (recuperators) والمجدِّدات (regenerators) .

وتصمم المعوِّضات بحيث يوجد سريان مستمر من كل من هواء دافىء وبارد خلال مواسير معدنية تحافظ على كل من السريانين منفصلين. ويتم انتقال الحرارة بالتوصيل من الهواء الدافىء من خلال مادة الماسورة إلى الهواء البارد. وتعتبر المبادلات الحرارية المتكونة من أعداد كبيرة من المواسير الصغيرة الحجم ذات مساحة تبادل حراري أكبر، وبالتالي ذات كفاءة أعلى من المبادلات الحرارية ذات المواسير الكبيرة الحجم والقليلة العدد. ويصعب الاحتفاظ بتلك الأنواع من المبادلات داخل حظائر الماشية. فيؤدي تكثف الماء من هواء العادم الدافىء ؛ ثم تجمده في المواسير إلى إعاقة سريان الهواء. كما يقلل تجمع الأتربة والأوساخ على المواسير من كفاءة المبادل الحراري. ويتم عمل الاحتياطات اللازمة عند استخدام تلك الأنواع من المبادلات في المنشآت الصناعية، وذلك عن طريق التنظيف الميكانيكي الدوري.

ويتم مع المبادل الحراري من النوع المجدِّد استخدام الطوب الحراري والأحجار والمعادن كأحواض حرارية. فيتم وضع الطوب الحراري أو الأحجار في غرفتين بحيث يمر كل من الهواء الدافيء والبارد على الغرفتين بالتبادل وعلى فترات. فيعمل الطوب الحراري والأحجار على امتصاص الحرارة من الهواء الدافىء ثم نقلها إلى الهواء البارد مع كل انعكاس في اتجاه السريان. وقد يحدث تراكمات للثلوج عند انخفاض درجات الحرارة إلى أقل من − ٢٥ °م. وقد تستخدم مواد ملحية في محاولة للتحكم في عملية تكوّن الثلوج .

وتستخدم أيضًا دوَّارات معدنية كمجدِّدات. وتمر − بدوران الدوَّار − الزوائد المعدنية الدقيقة بالتبادل من خلال تيارات الهواء الباردة والدافئة. ويعمل المعدن على امتصاص أو فقد الحرارة. وتتعرض تلك الوحدات لنفس المشاكل الخاصة بتراكم الأوساخ والثلوج مثلها مثل المعوِّضات.

المجمعات الشمسية (Solar Collectors)

تصمم المجمعات الشمسية لتدفئة أنواع عديدة من المنشآت الخاصة بالإنتاج الزراعي. وتتأثر الطاقة الشمسية المتاحة بكمية السُحب المتجمعة في الجو. وعامةً تستخدم دفايات إضافية عندما تصبح درجات الحرارة منخفضة للغاية. وتوجد عمليات تقييم مستمرة لنظم تخزين الطاقة، حيث إن الهدف هو تخزين الطاقة للاستخدام عندما تصبح درجات الحرارة الخارجية منخفضةً للغاية.

نظم تدفئة خاصة للزراعة (Special Heating Systems for Agriculture)

يتم في بعض الأحيان تدفئة الأرضيّات لتوفير الراحة لكل من العاملين والماشية. وقد تستخدم تلك النظم أيضًا إلى حد ما في الإنتاج الزراعي للحد من تراكمات الثلوج. وقد تستخدم دفايات تحت أرضية الحظيرة في عمليات الحلب، حيث قد يتطلب الأمر انخفاضًا نسبيًا في درجات الحرارة للحفاظ على راحة العاملين. وقد تستخدم تلك النظم أيضًا لتوفير أجواء دافئة في أماكن العجول الصغيرة مع المحافظة على ظروف باردة للحيوانات الكبيرة. ويستخدم لتوفير الحرارة في الأرضيّات إما كابل تدفئة كهربائي أو نظم أنابيب ماء حار أو مواسير هواء مسخن.

وتعمل الدفايات المشعة في المباني ذات درجات الحرارة المنخفضة على تدفئة الأسطح المتجهة إليها لتوفير الراحة لكل من العاملين والحيوانات. وقد تستخدم لمبات تدفئة في كل من زريبة العجول الصغيرة وعنابر الدواجن وسقايف الأغنام. كما قد تستخدم أيضًا لتوفير الراحة للعاملين في حظائر الحلب الباردة وأماكن التسويق الزراعي. وتعمل لمبات التدفئة الكهربائية (١٥٠ إلى ٢٥٠ واط) بكفاءة إذا أمكن تعليقها نسبيًا بالقرب من الأسطح المراد تدفئتها.

وتستخدم المواقد الدورانية لتدفئة الحيِّزات الصغيرة في المباني الباردة لحماية كل من الكتاكيت والعجول الرضيعة والأغنام المولودة حديثًا. ويعتمد حجم وشكل الدفاية الدورانية على نوع الحيوان المراد تدفئته. ويمكن – عند تدفئة تلك الوحدات– استخدام كل أنواع نظم التدفئة وكل أنواع الوقود المتوفر.

وتُصمم مجففات المحاصيل الزراعية بحيث يمكن دفع هواء جاف خلال كتلة من الحبوب أو أي مواد عضوية أخرى بغرض التخلص من الرطوبة. وغالبًا ما تستخدم حرارة في تلك العملية للتعجيل بعملية التجفيف. ويتم تركيب مشاعل في مجرى الهواء في بعض الوحدات لتوفير الحرارة، بحيث تمر نواتج الاحتراق من خلال المادة التي يتم تجفيفها. ويمر هواء التجفيف في بعض الوحدات الأخرى من خلال مبادل حراري لمنع الغازات المحترقة من الدخول إلى المادة المراد تجفيفها. وتعتبر المنتجات البترولية من وقود وغازات مواد الاحتراق الأساسية المستخدمة في عملية التجفيف. وقد تستخدم الكهرباء في تطبيقات محددة. وقد تم تطوير مجمعات شمسية بالنسبة للاستخدام الزراعي.

تنقية الهواء
(FILTRATION)

توجد عدة طرق متاحة لتقليل أتربة نواتج – الاحتراق. وتتوقف تكلفة عملية التنقية على أحجام الأتربة المراد إزالتها من داخل مبنى الحيوان المغلق. فيتطلب اختيار أفضل طرق التحكم في الأتربة أولاً معرفة كمية وحجم الجسيمات الواجب إزالتها من داخل المبنى. وقد وجد (Bundy and Hazen)[9] أنه يمكن توقع كمية الأتربة بالنسبة لأحجام جسيمات محددة في مبنى خنازير مغلق. ولاتتوافر حاليًا أي بيانات مماثلة لأصناف أخرى من الحيوانات.

وتوجد طريقتان أساسيتان للتحكم في تركيز الأتربة. وتكون أول تلك الطرق عن طريق خفض مصدر الأتربة. فقد تساعد محاولة تقليل نشاط الحيوان عن طريق تغذيته في فترة قصيرة ومحددة من تقليل تركيز الأتربة. وقد تقلل عملية التغذية الأرضية أو تقديم الغذاء مربوطًا وعلى شكل كور من تركيز الأتربة. ويجب بالنسبة للطيور عدم ترك فرشة الأرضية جافة، وذلك للحد من زيادة تركيز الأتربة في الجو.

وتعتبر عملية تجميع الأتربة والجسيمات بواسطة منقيات مصنوعة من الألياف أو أجهزة غسيل الغازات السائلية ضرورية لجذب تلك الجسيمات وخفض التركيز. وتستطيع المنقيات المصنوعة من الألياف حجز الأتربة أو الجسيمات في المدى الأقل من واحد ميكرون. وقد تحد تكلفة عملية التنظيف والإحلال لتلك المنقيات من

الاستخدام مع معظم الأنظمة. ونتيجةً لذلك، يعتبر استخدام المنقيات المصنوعة من الألياف محدوداً بنوع التطبيق، حيث يجب أن يكون الهواء المراد تنقيته نظيفًا نسبيًا. ويتم تقليل تركيز الأتربة في بعض عنابر الدواجن عن طريق استخدام رشاشات لترذيذ الماء. و تعمل تلك الطريقة بكفاءة فقط في تجميع جسيمات الأتربة ذات الأحجام الأكبر من عشرة ميكرونات.

الترسّبات الإلكتروستاتيكية (Electrostatic Precipitation)

يعتبر استخدام التصرف الأكليلي من أكثر طرق التخلص من الأتربة شيوعًا. فيتم شحن قطرات الماء الصغيرة والجسيمات الأخرى الموجودة في الهواء عن طريق أيونات غاز تتشكل بواسطة انهيار كهربائي بالنسبة للغازات المحيطة. ويتم دفع تلك الجسيمات مع تيار الهواء في اتجاه مجمع الأقطاب الكهربائية.

وتتطلب طريقة الترسيب الإلكتروستاتيكية للتخلص من الجسيمات العالقة بالهواء شحنًا كهربائيًا للهواء الجوي. وتبدأ عملية الإنتاج الإلكتروني بتشكل أكليلي نتيجة زيادة الجهد الكهربائي بين اثنين من الأقطاب الكهربائية. وتكون القيمة الحرجة بالنسبة للوحين متوازيين في هواء الجو حوالي ٣٠ كيلو ڤولت/ سم بُعدي بين الألواح. وقد تحدث عملية شحن الأقطاب عند مستويات منخفضة من الجهود الكهربائية في حدود من ٦ إلى ٨ كيلو ڤولت إذا ما تم استخدام أسلاك رفيعة أو رؤوس إبر لعملية الشحن. ويعتمد الجهد الكهربائي على مدى دقة تلك الأسلاك أو الإبرة. وفي الغالب تستخدم الإبر؛ نظراً لما يسببه أكليل التيار المتذبذب من حركة تذبذبية للأجزاء المشحونة، بينما لا يُسبب فرق جهد التيار المستمر تلك الحركة.

ويحتوي الجو الطبيعي على حوالي ما بين ١٠٠٠ و٢٠٠٠ من الجسيمات المتأينة في كل سم٣. وتتكون عند سريان التيار جسيمات أيونية إضافية من الأشعة فوق البنفسجية في منطقة الأكليل المتوهج. وتحتوي هذه الغازات مع الأكاليل سالبة الشحنة على شحنة موجبة تتحرك جهة القطب الشاحن، منتجةً إلكترونات حرة أكثر وأيونات موجبة بواسطة التأثير الجزيئي. وتتجمع الإلكترونات والأيونات ذات الشحنات السالبة وتزداد حركتها بواسطة المجال الكهربائي القوي حول القطب السالب. وتتناقص سرعة الإلكترونات والأيونات السالبة بزيادة المسافة من القطب

المشحون. وتعتبر أيونات غاز الأكسجين الأيونات الوحيدة التي عادةً ما تتولد مع الغازات سالبة الشحنة خارج منطقة الأكليل المتوهج. وتتحرك هذه الغازات جهة القطب الكهربائي المؤثر بسرعة تتناسب مع الشحنة التي تحملها تلك الغازات ومع كثافة المجال الكهربائي. وتستقبل جسيمات الأتربة في هذه المنطقة شحنتها السالبة(١٠).

وتتحرك الإلكترونات الحرة في الجو مع أكليل موجب جهة السلك المشحون، وذلك للمحافظة على منطقة الأكليل. وتتحرك أيونات الغاز الموجبة والمتشكلة بواسطة الدمج الجزيئي عند سرعات أكثر انخفاضًا من سرعات الإلكترونات في المنطقة الأكليلية السالبة. ويؤدي ذلك إلى إنتاج أقل من التصادمات الأيونية أثناء تحركها جهة القطب المؤثر(١١).

شحن الجسيمات (Particle Charging)

توجد طريقتان أساسيتان لشحن جسيمات الأتربة. وتكون الطريقة الأكثر أهمية عندما تسبب جسيمات مجال كهربائي تشويهًا موضعيًا للمجال بحيث تتقاطع خطوط المجال الكهربائي مع جسيمات الأتربة. ويعرف ذلك إما بالقذف الإلكتروني أو شحن مجال-تابع. وتميل الأيونات الموجودة في المجال إلى الحركة في الاتجاه الخاص بأقصى انحدار جهدي، أي تبعًا لخطوط المجال الكهربائي. وسوف يؤدي اعتراض الأيونات للجسيمات إلى شحن لتلك الجسيمات. وتستمر جسيمات الأتربة في اكتساب شحنات كهربائية حتى تصل شحنة الجسيم إلى قوة كافية للانحراف بعيداً عن خطوط المجال الكهربائي إلى الحد الذي لاتقطع جسيمات الأتربة المجال. ويُقال عند هذا الحد إن الجسيم في حالة تشبع وأن الشحنة في حالة اتزان.

وتربط النظرية الإلكتروستاتيكية كلاً من كمية المجال الكهربائي في منطقة الشحن وحجم الجسيمات والعازل الكهربائي للجسيم. ونظرًا لأن شحنة التشبع تتناسب مع مربع قطر الجسيم، فإن الجسيمات الكبيرة الحجم هي الأسهل في التجمع عن الجسيمات الصغيرة.

ويعتمد الوقت المطلوب لاكتساب جسيم لشحنة تشبع على عدة عوامل، ولكن

قد يصبح الوقت مُقاربًا باقتراب الجسيم من درجة التشبع. وقد تحدث عملية الشحن حتى درجة التشبع في أجزاء من الثانية فقط إذا دخل جسيم مفرد مجالاً ذا كثافة أيونية مرتفعة. ولكن قد يكون وقت الشحن حتى التشبع كبيرًا نسبيًا عند ظروف تحميل مرتفعة من الأتربة.

وتكون آلية شحن المجال - التابع أقل أهميةً بالنسبة للجسيمات ذات قطر (‹ ٢ , ٠ ميكرون). فتتم عملية شحن تلك الجسيمات أساسًا بواسطة الانتشار؛ ويكون التصادم بين الجسيمات وأيونات الغاز محكومًا إلى حد كبير بواسطة الحركة الحرارية للأيونات. ونظرًا لعدم وجود حد أقصى للسرعات الحرارية، فإنه لا توجد قيمة تشبعية بالنسبة لتلك الجسيمات الترابية الصغيرة. ولكن قد تتزايد احتمالات التأثير مع زيادة الشحنة، وبالتالي يتناقص المعدل الذي عنده تصبح تلك الجسيمات الصغيرة مشحونة.

وتوضح نظرية الشحن الجسيمي عدة عوامل مهمة تحكم أداءات التجميع. فتعتمد كمية الشحن الجسيمي بالنسبة لشحن مجال - تابع على قوة المجال الكهربائي، أي أن قوة المجال تحدد القوة التي تؤثر على الجسيم المشحون؛ وعلى ذلك يجب المحافظة على قوة المجال مرتفعة مثلها مثل الجسيم. ويعتبر معدل شحن الجسيم أيضًا مهمًا؛ نظرًا لأن زيادة حمل الأتربة يعني أيضًا زيادة الوقت المطلوب لشحن تلك الأتربة حتى التشبع.

ويمكن إيجاد قوة المجال الكهربائي بواسطة العناصر الإلكتروستاتيكية. ويتضمن ذلك كلاً من هندسة الترسبات والجهد الكهربائي المستخدم والعناصر الخاصة بشحن-الحيّز. ويمكن أن يبدل تصميم المرسب من هندسة كل من قطب التفريغ الكهربائي والحيّز. ويمكن أن يبدل التغيّر في هندسة القطب الكهربائي أيضًا من التيار الأكليلي، مما قد يؤثر على المجال الكهربائي.

وتحد عملية تراكم الأتربة على أقطاب التجميع الكهربائية من الجهد الكهربائي، وبالتالي من قوة المجال الكهربي الذي من خلاله يعمل المرسب. ويعتمد الانخفاض في الجهد على كل من كثافة التيار الأكليلي والمقاومة الكهربائية للأتربة وسمك طبقة الأتربة المتراكمة على السطح المجمع. ويمكن أن يصل الانحدار في الجهد عبر سمك طبقة أتربة متجمعة بالنسبة للأتربة ذات المقاومة المرتفعة من ١٠ إلى

٢٠ كيلو ڤولت.

وتعتبر عملية إصدار الشرارة شرطًا آخر مرتبطًا مع مقاومة الأتربة المرتفعة بحيث يمكن أن تؤثر على شحن الجسيمات. وسوف تتشكل فوّهة شرارية تُنتج مجالاً كهربائيًا موضعيًا مرتفعًا بدرجة كافية لبدء تشكل أكليلي. وسوف يتولد أيون موجب يتصادم مع جسيمات الأتربة المتجمعة مع وجود عملية استقطاب معاكس لما هو مطلوب للتجميع [١٠].

تجميع الجسيمات (Particle Collection)

تعتبر القوى المتولدة عن كل من الجاذبية الأرضية وعزم القصور الذاتي والكهرباء والحرارة والديناميكا الهوائية من القوى التي تعمل على شحن الجسيمات في الجو. وتعتمد القوى الأساسية المؤثرة على الجسيمات على حجم تلك الجسيمات وشحنة المجال وسرعة الهواء. وتعمل قوة المجال الكهربائي وشحن الجسيم بالنسبة لجسيم محمول بواسطة تيار هوائي على الاتجاه ناحية القطب الكهربائي.

وتعتمد القوة الأكبر والمؤثرة على الجسيم على كل من حجم الجسيم وسرعة الهواء. وتكون حركة الجسيم بطول الخط المحدد عبارة عن محصلة الجمع الاتجاهي للقوى؛ ولكن تتم عملية التجميع بدخول الجسيم إلى الطبقة الحدية لسطح التجميع حيث يكون سريان الغاز رقائقي.

ويجب التخلص من الأتربة أو الغبار السائل بمجرد التجميع. ويتم ذلك عن طريق دفع سريان مائي إلى أسفل سطح التجميع أو عن طريق هز القطب الكهربائي مما يؤدي إلى الإزاحة الميكانيكية للأتربة. ولاتعتبر عملية التخلص من الغبار السائل مشكلة حيث يتم الصرف الطبيعي من على سطح التجميع.

التأثيرات الفسيولوجية لتأين الهواء

(Physiological Effects of Air Ionization)

تعتبر عملية تأين الهواء وتأثيره الفسيولوجي من أكثر الموضوعات جدلاً في الأبحاث. وتوجد الأيونات في الجو عند تراكيز من ١٠٠٠ إلى ٢٠٠٠ لكل سم^{٣}.

ويكون ذلك حوالي ١ أيون لكل ١٠ ^١٢ من الجسيمات. وهناك العديد من البحوث العلمية المنشورة التي تتضمن تأثير الأيونات على كل من الطيور والخنازير. وقد وجد تغير كبير بين النتائج المتحصل عليها [١٢].

وقد تضمنت دراسة أجريت في جامعة جورجيا عن استخدام أيونات الهواء السالبة وتأثيرها على الخنازير على مدى ٣٠ يومًا[١٢]. وقد أوضحت الدراسة عدم وجود أي فروق بالنسبة لكل من النشاط ومعدل زيادة الوزن ومعامل تحويل الغذاء في فترة إجراء التجربة.

وقد أوضحت دراسة أخرى أجريت على كل من الخنازير والدواجن وجود نتائج متضاربة[١٣]. فقد أوضحت ثلاثة اختبارات الحصول على نتائج متضاربة خاصةً عند دراسة تأثير أيونات قطبية على معدل زيادة الوزن للخنازير. وقد أوضحت ثلاثة اختبارات أخرى عدم وجود أي تأثير للأيونات القطبية على معدل زيادة الوزن. وقد أوضح اختبار واحد فقط أن زيادة الأيونات الموجبة كان ضارًا. وقد وجد في اختبارات أخرى على حيز ساكن تحسن في زيادة الوزن مع كل من الأيونات الموجبة والسالبة عن تلك التي تم إجراؤها تحت الظروف الطبيعية. وقد كان الفرق في معدل الزيادة الوزنية واضحًا في بعض الاختبارات بحيث لايمكن إغفال تأثير الأيونات القطبية.

وقد وُجد أيضًا تباين في النتائج في اختبارات مماثلة مع مجموعات من ٥٠ إلى ٦٠ من طيور السمان اليابانية. وقد تم إجراء ست تجارب مع بيئات ذات أيونات قطبية مختلفة من عمر يوم إلى ٢٨ يومًا. وقد وُجد في جميع التجارب باستثناء تجربة واحدة انخفاض الأوزان مع مجموعة الأيونات السالبة عن أي من المجموعة الموجبة أو مجموعة الأيونات الطبيعية[١٣].

المراجع

1 ASHRAE. 1979. Handbook and product directory: Equipment. Am. Soc. Htg., Ref. and Air Cond. Engrs., New York.

2 AMCA. 1974. Standard 210: Laboratory methods of testing fans for rating. Air Mov. and Cond. Assoc., Arlington Hts., IL.

3 AMCA. 1982. Directory of licensed products. Air Mov. and Cont. Assoc., Arlington Hts., IL.

4 AMCA. 1975. AMCA fan application manual, Part 1—Fans and systems. Air Mov. and Cond. Assoc., Arlington Hts., IL.

5 Albright, L. D. 1975. Air moving efficiencies of ventilating fans. ASAE Paper No. NA75-304, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

6 Smeaton, R. W. 1969. Motor application and maintenance handbook. McGraw-Hill Book Co., New York.

7 Vosper, F. C., L. H. Soderholm. J. F. Andrew and D. S. Bundy. 1982. Microcomputer control of livestock environment. Paper presented at the 2nd International Livestock Environment Symposium, Ames, IA. April 20-23.

8 Nutting, A. 1963. Air filter techniques. ASAE Paper No. 63-935, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

9 Bundy, D. S. and T. E. Hazen. 1975. Dust levels in swine confinement systems associated with different feeding systems. TRANSACTIONS of the ASAE 18(1):137-139, 144.

10 Oglesby, S., Jr., and G. B. Nichols. 1970. A manual of electrostatic precipitator technology. pp. 1-165. Prepared under contract CPA 22-69-73 for The National Air Pollution Control Administration. Southern Research Institute, Birmingham, AL.

11 Strauss, W. 1966. Industrial gas cleaning. Vol. 8. Pergamon Press, Ltd., New York.

12 Brown, R. H. and B. J. Stone. 1965. Air ionization in the environment of farm animals. TRANSACTIONS of the ASAE 8(1):15-17.

13 Dobie, J. B., T. E. Bond, R. L. Givens, H. Heitman, Jr., F. C. Jacob, C. F. Kelly, C. M. Sprock, and W. O. Wilson. 1966. Effect of air ions on swine and poultry. TRANSACTIONS of the ASAE 9(6):883-886.

14 USDA. Your farm house heating. U.S. Dept. of Agricultural Miscellaneous. Publication No. 689. February 1962.

15 Marks, L. S. 1951. Heat saving methods. Mechanical Engineer's Handbook. McGraw-Hill Book Co., New York, 5th Edition, page 835.

16 Witz, R. L., G. L. Pratt, M. L. Buchanan. 1976. Livestock ventilation with heat exchangers. TRANSACTIONS of the ASAE 19(6):1187-1192.

17 MWPS. 1977. Structures and environment handbook. Midwest Plan Service, Iowa State University, Ames, Ninth ediion.

18 Muehling, A. J. and D. R. Daum. 1961. Electric cable for swine. University of Illinois, Extension Service, Urbana. Circular 830. March.

19 Purchase, G. H. 1977. Farm poultry management. USA, Farmers Bulletin 2197. June.

20 McKenzie, B. A. 1966. Selecting a grain drying method. Cooperative Extension Service, Purdue University, Lafayette, IN. A.E. 67. October.

الفصل الخامس

التهوية الطبيعية*

(NATURAL VENTILATION)

- أساسيات التهوية الطبيعية • توجيه المبنى
- فتحات التهوية الطبيعية في المباني الباردة
- تهوية العلّيّة

تحدث التهوية الطبيعية نتيجة حركة الهواء من خلال فتحات خاصة في المباني، وذلك باستخدام القوى الطبيعية المتولّدة عن الرياح أوفرق درجات الحرارة. ويعتمد معدل التهوية على سرعة واتجاه الرياح وتداخل العوائق القريبة من قمم ومباني وتصميم وتحديد موضع مداخل ومخارج الهواء. وتختلف التهوية الطبيعية عن التهوية الميكانيكية في أن الأخيرة تحتاج إلى طاقة ميكانيكية لعمل فرق ضغط ضروري لحركة الهواء.

وتعتبر التهوية الطبيعية من أقدم طرق التهوية، حيث تستخدم على مدار الزمن طالما تم توفير المأوى للحيوانات. ويعتبر هذا النوع من التهوية ببساطة من أكثر طرق التهوية شيوعًا؛ نظرًا لانخفاض كل من التكاليف الابتدائية وتكلفة الطاقة. ولكن يعتمد هذا النوع من التهوية على القوى الطبيعية والتي في الغالب ما تكون متغيّرة. ونتيجة لذلك، فهناك أوجه قصور وتحفظات كثيرة عند استخدام هذه الطريقة. وتتضمن أوجه القصور عوامل مثل طبيعة المناخ والمساحة الجغرافية وتضاريس الأرض وعوائق الرياح والمتطلبات البيئية وغيرها من العوامل التي يجب أخذها في الاعتبار عند تصميم نظام تهوية طبيعية والإدارة الملحقة به.

---

* ميلو أ. هيلكسون : جامعة ولاية داكوتا الجنوبية - بروكينس
شارلس ن. هينكل : جامعة بوردو - لافاييت الغربية
دونالد ج. چيديل : جامعة إيلينوي - آربانا

أساسيّات التهوية الطبيعية

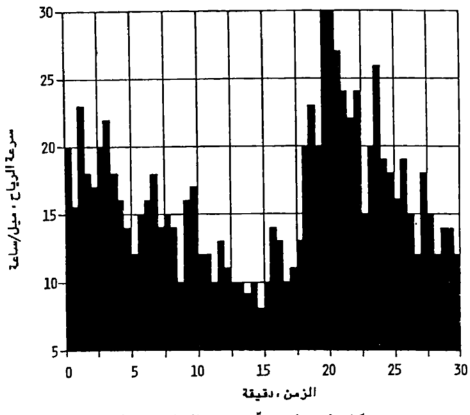
(FUNDAMENTALS OF NATURAL VENTILATION)

القوى الطبيعية المتضمنة (Natural Forces Involved)

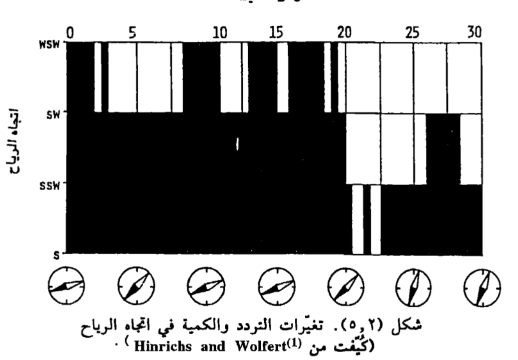
تعتمد القوى الطبيعية المتاحة لتحريك الهواء إلى داخل أو خارج المباني على: (أ) قوى الرياح ، (ب) الفرق في درجة الحرارة بين داخل وخارج المبنى. و قد تحدث حركة الهواء بواسطة أي من هذين العاملين بمفرده أو بواسطة العاملين معًا، وذلك اعتمادًا على الظروف الجوية وتصميم وموضع المبنى. فهناك تباين في معدلات التهوية المتحصل عليها نتيجة لتغيّر سرعة الرياح واتجاهها وفرق درجة الحرارة. ويجب أن تتم عملية تحديد مكان فتحات التهوية وطرق التحكم فيها بحيث تعمل القوتان المتولدتان عن كل من الرياح وفرق درجة الحرارة جنبًا إلى جنب وليس ضد بعضهما البعض.

خصائص الرياح (Wind Characteristics)

تتغيّر الرياح من حيث المقدار والاتجاه بمعدل ثابت، وذلك كما هو موضح في الشكلين رقمي (١ , ٥) و(٢ , ٥). ويوضح هذان الشكلان التغيّرات التي تم رصدها خلال فترة زمنية مقدارها ٣٠ دقيقة بمعدل قراءة لكل نصف دقيقة[1]. وليس شائعًا بالنسبة للرياح أن تتغير بنسبة ± ١٠٠٪ عن القيمة المتوسطة خلال فترة زمنية مقدارها خمس دقائق. وتكافيء التغيّرات في ضغط سرعة الرياح خلال فترة زمنية مقدارها خمس دقائق أو تكون أكبر من الضغوط المستخدمة في العديد من القوى العاملة في نظم تهوية المباني الزراعية[1]. ويوضح الجدول رقم (١ , ٥) أمثلة عن مقدار وتردد كل من سرعة الرياح والضغوط[1]. ويوضح الشكل رقم (٢ , ٥) التغيّرات في اتجاه الرياح نتيجة للتغيّر في السرعة. وفي الغالب ما يحدث تغير في اتجاه الرياح داخل مدى مقداره حوالي ٥ , ٢٢ درجة إلى الأمام أو إلى الخلف، ولكن قد يصل هذا المدى أحيانًا من ٤٥ إلى ٥ , ٦٧ درجة[1].



شكل (١ ,٥). تغيّر سرعة الرياح مع الزمن
(كُيّفت من Hinrichs and Wolfert[1]) .



شكل (٢ ,٥). تغيّرات التردد والكمية في اتجاه الرياح
(كُيّفت من Hinrichs and Wolfert[1]) .

جدول (٥,١). التغيرات في المقدار والتردد لسرعة الرياح وضغط السرعة كُيِّفت من (Hinrichs and Wolfert)[1] .

الوقت (دقيقة)	١	٢	٣	٤
	التغير في سرعة الرياح			
أقصى	٣,١	٥,٤	٨,٥	٨,٩
أقل	صفر	٠,٤	٠,٩	٢,٧
متوسط	١,٣	٢,٦	٣,٥	٥,٠
	التغير في ضغط سرعة الرياح			
أقصى	٥,٨٥	١٧,٤٠	٤٣,٥٨	٤٧,٨١
أقل	صفر	٠,١٢	٠,٤٧	٤,٢٨
متوسط	١,٠٤	٤,١١	٧,٢٢	١٤,٩٤

قوى الرياح (Wind Forces)

يؤدي سريان الهواء الناتج عن حركة الرياح حول مبنى إلى إحداث مناطق ذات ضغط إستاتيكي أعلى أو أقل من الضغط الإستاتيكي لتيار الهواء البعيد عن حركة الرياح . ويعبرعن سرعة الرياح بمقدار الضغط الخارجي الواقع على المبنى. وقد يكون هذا الضغط : (أ) موجبًا، أي يتم دفع الهواء إلى داخل المبنى من خلال المداخل. (ب) سالبًا، أي يتم سحب الهواء من الداخل إلى الخارج ، (جـ) متعادلاً، أي لايُسبب أي حركة للهواء.

وتتناسب الضغوط الساكنة فوق أسطح المباني مع ضاغط السرعة لتيار الهواء غير المضطرب. ويمكن التعبير عن مكافيء ضاغط السرعة بالنسبة لسرعة رياح معلومة كالآتي :

$$Pv = 0.60(V_w)^2 \quad (Pv = 0.000482(V_w)^2) \qquad (٥,١)$$

حيث :

Pv = ضاغط السرعة، باسكال (بوصة ماء)

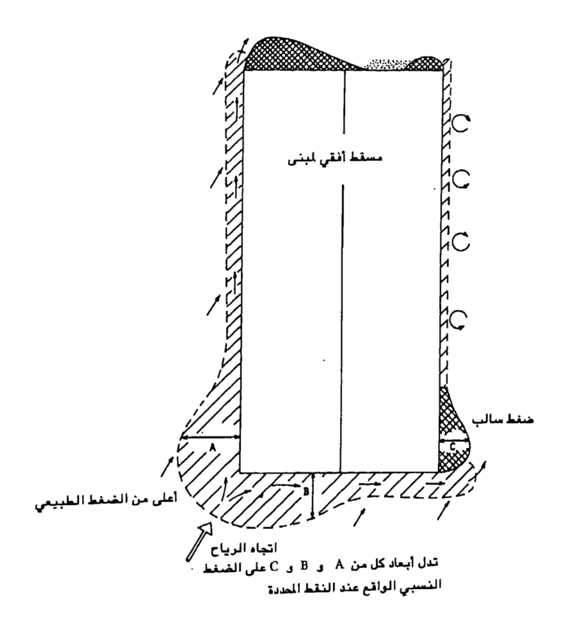
Vw = سرعة الرياح، م/ث (ميل/ساعة)

وجدير بالذكر أن ثوابت المعادلة قد حُسبت على أساس أن كثافة الهواء ٢ , ١ كجم/ م٣ (٠٧٥ , ٠ رطل/ قدم٣) . وتتغيّر قيم الضغوط الإستاتيكية حول المباني على حسب شكل المبنى واتجاه الرياح ومقاومة الشقوق والفتحات وسرعة الرياح الفعلية والمؤثرة على سطح المبنى .

ويمكن أولاً تحديد الموضع الخاص بالمساحات ذات الضغوط باستخدام اتجاه الرياح . ويلاحظ أنه من النادر ما يكون الضغط خلال أي مساحة منتظم التوزيع . ويتولد ضغط موجب من طاقة الحركة للهواء عند اصطدام الرياح بمبنى . ويتحول هذا الضغط إلى ضغط سالب بمرور الهواء بطول أو بنهاية المنشأة ، وذلك كما في الشكل رقم (٥,٣) . وعامةً تكون الضغوط موجبةً بالنسبة للجانب في مهب الرياح ، أما الضغوط التي على جوانب المبنى الأخرى فقد تكون سالبةً ، وذلك على حسب زاوية اتجاه الرياح . ويعتمد الضغط الإستاتيكي على سطح مبنى على نوع مادة السطح . وعامةً تكون الضغوط سالبةً بالنسبة للسطح المستوي أو الأسطح ذات الميول البسيطة ، ولكن تكون الضغوط موجبةً بالنسبة للأشكال الجمالونية في الجانب المواجه للرياح وسالبةً في الجانب الآخر غير المواجه للرياح .

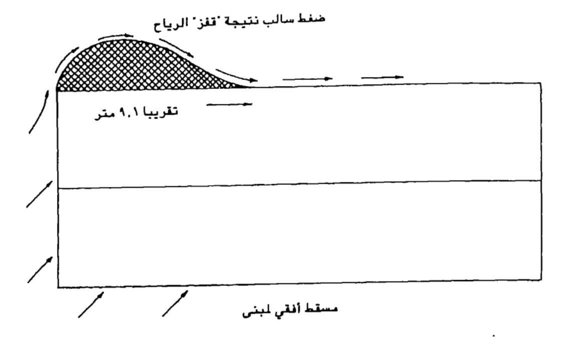
ويلاحظ أن الهواء لا يتبع حدود المبنى بعد مروره عليه ، لأن القوة الدافعة للهواء سوف تحمله بعيداً عن الحواف السطحية والزوايا . ويُطلق على القوة التي تُسبب مساحات ذات ضغوط سالبة بالقفزة "jump" . وتتولد تلك القفزة : (أ) بطول أول ١ , ٩ متر من الجانب الطولي للمبنى غير المواجه للرياح كما في الشكل رقم (٥,٤) ، (ب) أول ١ , ٩ متر بطول السطح المواجه للرياح كما في الشكل رقم (٥,٥) ، و(جـ) بعرض السطح الكلي غير المواجه لاتجاه الرياح كما في الشكل رقم (٥,٦) . ومن المهم أن نذكر أنه دائمًا مايكون هناك ضغط سالب بطول أو ملاصق لحافة المبنى الطولية ، وذلك بغض النظر عن اتجاه الرياح . ويعتبر اتساق هذا الضغط السالب من العوامل التي يمكن استخدامها لتحسين أداء نظم التهوية الطبيعية[1] .

ويلاحظ أن الرياح التي تهب في اتجاه المحور الطولي للمبنى تؤدي إلى حدوث فرق ضغط أكبر من الذي تسببه الرياح لو كانت في اتجاه متعامد على حافة المبنى الطولية . ويوضح الشكلان رقما (٥,٧) و(٥,٨) أنه يمكن الحصول على نفس الاتساق من الضغوط عند تغير اتجاه الرياح داخل المدى ± ٢٠ درجة عن الاتجاه

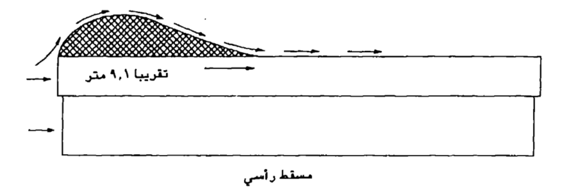


شكل (٣,٥). مواضع مناطق الضغط الملاصقة لنهايات وجوانب مبنى طويل (كُيّفت من Hinrichs and Wolfert[1]).

الموازي للحافة. ولكن يلاحظ أن زحزحة اتجاه الرياح بمقدار من ٢٠ إلى ٣٠ درجة قد تؤدي إلى انعكاس الضغوط انعكاسًا كاملاً بالنسبة للجوانب المقابلة للمبنى، وذلك

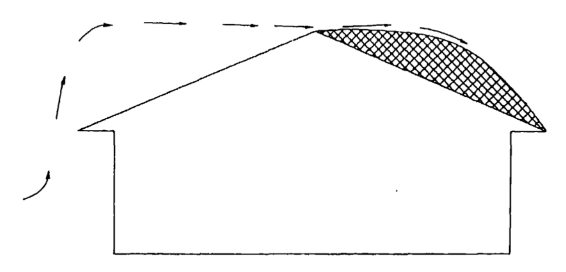


شكل (٥,٤). ضغط سالب نتيجة "قفز" الرياح بطول الجانب المواجه للرياح لمبنى طويل (كُيِّفت من Hinrichs and Wolfert[1]).



شكل (٥,٥). ضغط سالب نتيجة "قفز" الرياح بطول نهاية السطح المواجه للرياح (كُيِّفت من Hinrichs and Wolfert[1]).

كما في الشكل رقم (٥,٧). وتعمل الرياح المتوازية على إحداث ضغط سالب مؤثر بطول سطح المبنى، وذلك من خلال مسافة مقدارها ٩,١ متر ملاصقة لنهاية المبنى من الناحية التي تهب منها الريح، كما في الشكل رقم (٥,٨). وقد تُصبح حركة

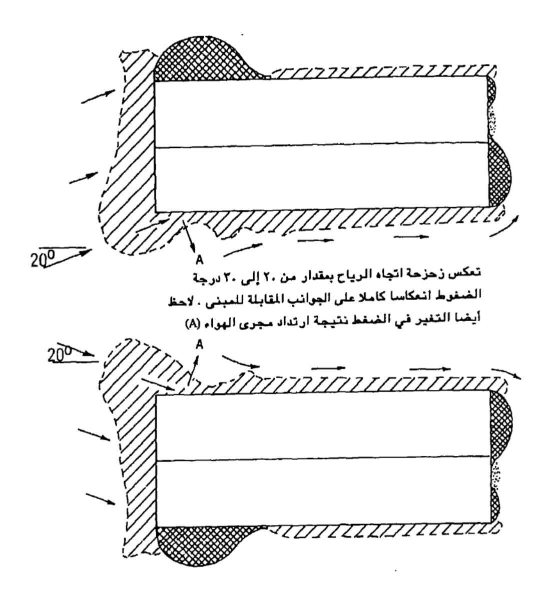


شكل (٥,٦). ضغط سالب بطول جانب السطح المواجه للرياح (كُيِّفت من (Hinrichs and Wolfert[1]) .

الهواء دوامية بعد هذه المسافة، مما قد ينتج عنها بعض الضغوط الموجبة الخفيفة.

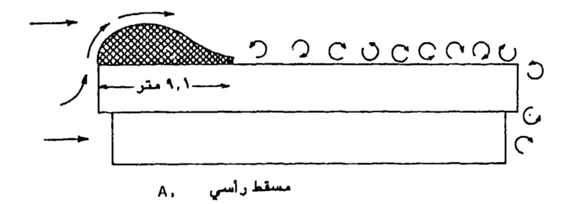
وقد تحدث بالمعنى الحرفي قفزات "bounces" للهواء كإحدى ظواهر مجرى الهواء عند زاوية تقريبًا من ١٥ إلى ٢٠ درجة من الخط الموازي لجانب المبنى، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (٥,٧). ويصل الضغط الإستاتيكي الملاصق للثلاثة أمتار الأولى من المنشأة من ١,٥ إلى ٢ مرة الضغط الطبيعي. وينخفض هذا الضغط إلى ١٥٪ من الضغط الطبيعي على بعد ستة أمتار من نهاية المبنى. وقد يصل هذا الضغط تدريجيًا إلى متوسط يمثل حوالي ٧٠٪ من الضغط الطبيعي بطول القطاع المواجه للرياح.

وتتماثل الأنماط السلوكية للضغوط الواقعة على مبنى نتيجة هبوب رياح في اتجاه متعامد، في مدى ± ٣٥ درجة من الاتجاه المتعامد، وذلك كما هو موضح في الشكلين رقما (٥,٩) و(٥,١٠). وتكون اتساقات الضغوط عندما تكون الرياح في اتجاه قطر شكل المبنى متماثلة إلى الضغوط في حالة ما إذا كانت الرياح متعامدة، ولكن تكون الضغوط نوعًا ما أقل. وقد تنعكس الضغوط عند نهايات المبنى في الجهة التي لاتواجه الرياح في حالة زحزحة اتجاه الرياح من ١٥ إلى ٢٠ درجة عن الاتجاه المتعامد. أما بالنسبة للحوائط الجانبية، فتنعكس الضغوط عند زحزحة اتجاه الرياح بمقدار ١٨٠ درجة.

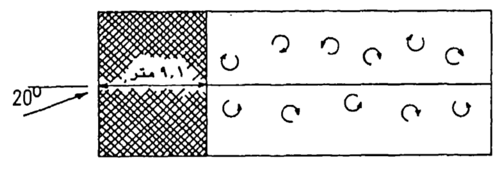


شكل (٥,٧). مناطق الضغط الموجب والسالب والمتعادل الملاصقة للأجناب بطول مبنى (كُيِّفت من Hinrichs and Wolfert[1]) .

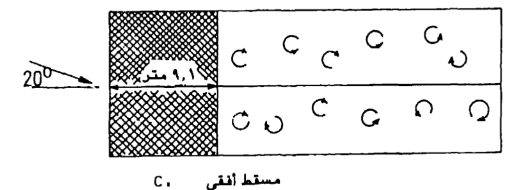
ويُسبب هبوب رياح في اتجاه متعامد على سطح المبنى المواجه للرياح ضغوطًا موجبةً أو سالبةً أو خليطًا من الموجب والسالب اعتماداً على خصائص السطح. ومن الطبيعي أن تؤدي الأسطح الجمالونية ذات الميول البسيطة إلى ضغوط سالبة، بينما تؤدي الأسطح الجمالونية ذات الميول الحادة إلى ضغوط موجبة. ويبين الجدول رقم



A، مسقط رأسي



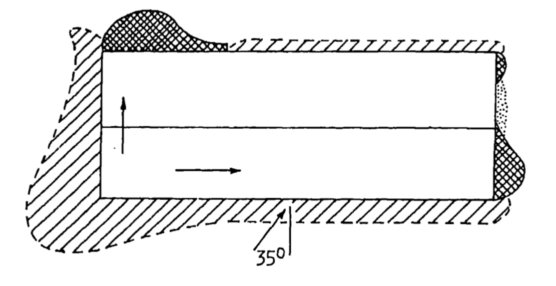
B، مسقط أفقي

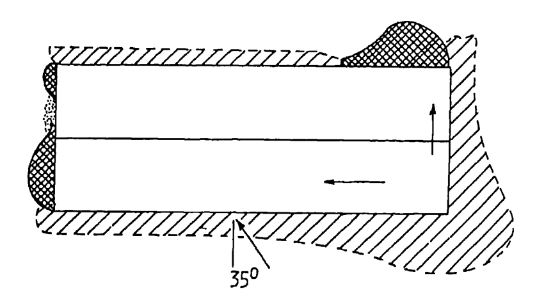


C، مسقط أفقي

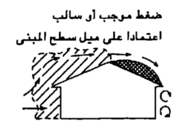
شكل (٨,٥). مناطق الضغط الموجب والسالب والمتعادل المتولدة بواسطة رياح موازية لسطح مبنى (كُيِّفت من (1) Hinrichs and Wolfert).

تنعكس الضغوط على النهايات المقابلة لمساحة المبنى
عند زحزحة اتجاه الرياح بمقدار من ١٥ إلى ٢٠ درجة





شكل (٥,٩). مواضع مناطق الضغط الموجب والسالب والمتعادل والملاصق لنهايات مبنى طويل والمتولد بواسطة رياح متعامدة على المحور الطويل (كُيِّفت من Hinrichs and Wolfert[1]).





شكل (٥,١٠). مواضع مناطق الضغط الموجب والسالب والمتعادل الملاصق لسطح مبنى طويل والمتولد بواسطة رياح متعامدة على حافة السطح العلوية (كُيِّفت من Hinrichs and Wolfert[1]).

(٥,٢) تأثير سطح وشكل المبنى على أنماط الضغوط بالنسبة للمنشآت الجمالونية[٢].

ويعني المعامل ذو القيمة السالبة أن الضغط ذو قيمة سالبة، ويجب ضرب قيمة المعاملات من الجدول رقم (٥,٢) في قيمة الضغط الناتج من المعادلة رقم (٥,١)، وذلك للحصول على الضغط الواقع على مبنى محدد.

جدول (٥,٢). معاملات التشكل لأحمال الرياح على سطح جمالوني مواجة للرياح؛ لمنشأة محكمة الغلق (Agricultural Engineering Yearbook)[2].

	ميل السطح				
طول/عرض	١٢:١	١٢:٢	١٢:٣	١٢:٤	١٢:٦
٠,١	-٠,٣٤	-٠,٢٤	-٠,١٣	-٠,٠٣	٠,١٢
٠,٢	-٠,٦	٠,٤٧	-٠,٢٧	-٠,٠٦	٠,١٢
٠,٣	-٠,٦	-٠,٦	-٠,٤١	-٠,١٨	٠,٠٨
٠,٤	-٠,٦	-٠,٦	-٠,٥٣	-٠,٣٣	٠,٠١
٠,٥	-٠,٦	-٠,٦	-٠,٦	-٠,٤٤	-٠,١٤
٠,٦	-٠,٦	-٠,٦	-٠,٦	-٠,٤٩	-٠,٢٠
٠,٧	-٠,٦	-٠,٦	-٠,٦	-٠,٥٧	-٠,٣٠
٠,٨	-٠,٦	-٠,٦	-٠,٦	-٠,٦	-٠,٣٥
١,٠ أو أكثر	-٠,٦	-٠,٦	-٠,٦	-٠,٦	-٠,٣٩

السريان نتيجة الرياح (Flow due to Wind)

من العوامل التي يجب أخذها في الاعتبار للحصول على تهوية من قوى الرياح الطبيعية: (أ) متوسط سرعة الرياح، (ب) اتجاه الرياح السائدة، (جـ) التغيرات اليومية والموسمية لسرعة واتجاه الرياح، و(د) تأثير المعوقات على حركة الرياح مثل المباني القريبة وقمم الجبال والأشجار أو أي إضافات أخرى. وتُزوّد (ESSA) قيم السرعات المتوسطة للرياح بالنسبة لأماكن مختلفة في الولايات المتحدة، الجدول رقم (٥,٣)[٣]. وفي الغالب ما تكون سرعة الرياح في فصل الصيف أقل منها في فصل الشتاء بنسبة الثلثين بالنسبة لمعظم المناطق السائدة الرياح. ويختلف الشكل رقم (٥,١١) في الصيف عنه في الشتاء. بينما لا يُعطي الجدول سرعات متوسطة أقل من ٢,٢٤ م/ث، (معظم السرعات تقع ما بين ٢,٢٤ و ٤,٥ م/ث). ويعتبر المتوسط الموسمي فيها أكبر من ٢,٢٤ م/ث. وهناك بيانات أخرى عن سرعة واتجاه الرياح متوافرة بالنسبة لمناطق أخرى إضافية [٣]. وللتأكد من الحصول على تهوية كافية عند سرعات رياح أقل من المتوسط الموسمي، فإن حساب السرعة التصميمية لمعدل التهوية باستخدام ضغط الرياح يكون على أساس نصف المتوسط الموسمي.

ونظراً لكثرة التغيرات في الظروف الجوية، فإن استحداث معادلة نظرية لحساب معدل التهوية نتيجة لقوى الرياح يُعد أمراً محدوداً للغاية. وتُعطي المعادلة التجريبية التالية نتائج تقريبية عن معدل التهوية:

$$Q = EAV \qquad (٥,٢)$$

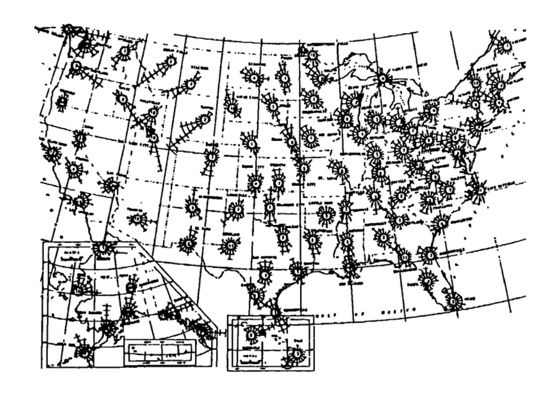
حيث:

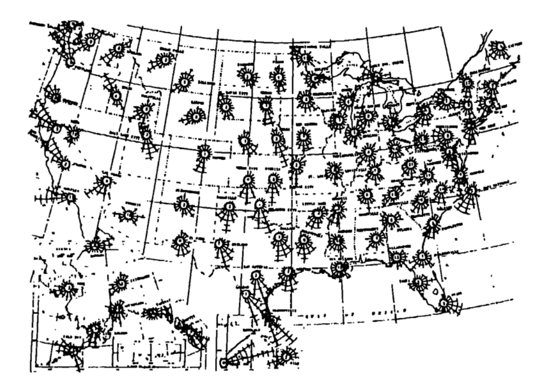
Q = معدل سريان الهواء، $م^3$/ ث

A = مساحة فتحة التهوية، $م^2$

V = سرعة الرياح، م/ث

E = كفاءة فتحة التهوية (تأخذ E القيمة من ٠,٥ إلى ٠,٦ بالنسبة للرياح المتعامدة على فتحة التهوية، ومن ٠,٢٥ إلى ٠,٣٥ بالنسبة للرياح المائلة على سطح الفتحة، وتستخدم القيمة ٣٥, بالنسبة للمباني الزراعية).





شكل (١١,٥). ارتفاعات الرياح السطحية للولايات المتحدة (من ESSA[3])

جدول (٣,٥) . سرعة الرياح المتوسطة بالنسبة لأماكن مختارة في الولايات المتحدة (المصدر: أطلس المناخي للولايات المتحدة، وزارة التجارة الأمريكية، (ESSA)[3] .

الولاية والمكان	متوسط سرعة الرياح م/ث	الولاية والمكان	متوسط سرعة الرياح م/ث
آلاباما، موبيل	٣,٥	ميسوري، سبرنج فيلد	٥,٨
ألاسكا، أنكور	٣,٠-	مونتانا، جريت فولس	٦,٢
أريزونا، فونيكس	٢,٤	نبراسكا، أوماها	٥,٢
آركانسا، ليتل روك	٣,٩	نيفادا، لاس فيجاس	٤,٣
كاليفورنيا، ساكرامينتو	٤,٢	نيوجيرسي، نيوارك	٤,٤
كولورادو، دينفر	٤,٥	نيوميكسيكو، ألبوكيرك	٣,٨
كيناكتيكات، هارت فورد	٤,٣	نيويورك، ألباني	٣,٨
واشنطن، حي كولومبيا	٣,٩	كالورانيا الشمالية	٣,٤
ديلاوير، ويلمنجتون	٣,٨	داكوتا الشمالية، فارجو	٦,٤
فلوريدا، أورلاندو	٤,٣	أوهايو، كولومبوس	٣,٧
چورچيا، أطلانتا	٥,٤	أوكلاهوما، مدينة أوكلاهوما	٦,٢
هاواي، هونولولو	٤,٠	أوريمون، سالم	٣,٢
أيداهو، بويز	٥,٤	بنسيلفانيا، هاريس بيرج	٣,٣
إلينوي، سبرنج فيلد	٥,٤	رود أيلاند، بروفيدانس	٤,٨
إنديانا، إنديانابوليس	٤,٨	كارولينا الجنوبية، شارلستون	٤,١
أيوا، ديس موينس	٥,٤	داكوتا الجنوبية، هيورن	٥,٣
كانساس، توبيكا	٥,٠	تينيسي، فوكس فيك	٣,٤
كينتاكي، ليكسنجتون	٤,٥	تيكساس، أوستن	٤,٣
لويزيانا، نيوأورلنس	٤,٣	يوتا، مدينة البحيرة المالحة	٣,٩
مين، بورتلاند	٤,٦	فيرمونت، برلنجتون	٣,٧
ميريلاند، بالتيمور	٤,٦	فيرچينيا، رونوك	٣,٧
ماسيتيوسس، بوسطن	٥,٩	واشنطن، سيتل-تاكوما	٤,٨
ميشيجان، جراند رابيدس	٤,٤	فيرچينيا الغربية، شارلستون	٢,٨
ميني سوتا، مينابوليس	٥,٠	ويسكونسن، ماديسون	٤,٥
ميسيسبي، چاكسون	٣,٢	يومينج، كاسبر	٥,٩

ويجب أن تكون مداخل الهواء بقدر الإمكان في اتجاه متعامد بالنسبة لمعظم الرياح السائدة. وغالبًا ما يوصى باستخدام القيمة ٠,٣٥ بالنسبة للمباني الزراعية، حيث نادراً ما تكون الرياح متعامدة على فتحة التهوية. وقد ينخفض معدل التهوية إذا

ما تم تركيب فتحات التهوية دون أخذ اتجاه الرياح في الاعتبار. أما إذا تم تركيب فتحة التهوية مع الأخذ في الاعتبار لاتجاه الرياح، فإن معدل التهوية سوف يكون أعلى قليلاً من أرقام المعدل الناتج من المعادلة رقم (٢, ٥). ويتم في الغالب وضع مداخل الهواء على الحوائط الجانبية ومخارج الهواء على سطح المنشأة. ولكن نجد أن سلوكيات الضغوط الخارجية تتغيّر تغيّراً جذريًا مع اتجاه الرياح، الأشكال أرقام من (٥, ٤) إلى (٥, ١٠). ونتيجة لذلك، فإن أي فتحة تهوية يمكن أن تكون إما مدخلاً أومخرجًا للهواء، أوالحالتين معًا.

مثال

احسب معدل سريان الهواء من مبنى إنتاج حيواني بطول ٣٠ م ذي تهوية طبيعية وذلك من خلال فتحة تهوية بطول المبنى وعرضها ٠,٠٨ م علمًا بأن سرعة الرياح ٩ م/ث.

الحل

$$Q = E(A)(V)$$

حيث :

Q = سريان الهواء، م/ث

A = مساحة مقطع المدخل، م٢

V = سرعة الرياح، م/ث

A = (٣٠ م)(٠,٠٨ م) = ٢,٤ م٢

E = ٠,٣٥ (قيمة طبيعية بالنسبة للمباني الزراعية)

Q = (٠,٣٥)(٢,٤ م٢)(٩ م/ث)

Q = ٧,٥٦ م٣/ث.

القوى المتولّدة عن فرق درجات الحرارة

(Temperature Difference Forces)

يتولّد انحدار في الضغط نتيجةً للفرق في كثافة الهواء عندما تختلف درجة الحرارة داخل مبنى عن درجة الحرارة الخارجية. فعندما تكون درجة الحرارة الداخلية

أدفأ من الخارجية، فإن الهواء الدافىء داخل المبنى سوف يرتفع إلى أعلى نتيجة التمدّد بقوة طفو تعادل وزن هواء الإحلال الخارجي. وهذا ما يُشار إليه بالمدخنة أو تأثير التكدس. وسوف يحدث سريان الهواء إلى داخل المبنى عند مستويات منخفضة ليحل محل الهواء الدافىء المتمدد والمطرود عند مستويات مرتفعة. وتتم هذه العملية بالنسبة لحظيرة إنتاج حيواني مهواة تهوية طبيعية بدون أي تدخل من سرعة الرياح الخارجية.

ويتناسب معدل سريان الهواء الناتج من تأثير الطفو مع كل من فرق الضغط والفرق في الارتفاع بين مداخل ومخارج الهواء. ويمكن تحويل فرق الضغط إلى فرق في درجات الحرارة باستخدام القوانين العامة للغازات. و تكون سرعة الهواء الخارج من المخرج:

$$V = \theta\,(2g(H)(Ti - To)/Ti)^{0.5} \qquad (٥,٣)$$

حيث:

V = سرعة التصرف، م/ث

θ = معامل اختزال سيتم مناقشته في الفقرة التالية

g = عجلة الجاذبية، م/ث^2

H = الفرق في الارتفاع بين فتحتي دخول وخروج الهواء، م

Ti = درجة حرارة الهواء الداخلية بالدرجة المطلقة، ك

To = درجة حرارة الهواء الخارجية بالدرجة المطلقة، ك.

ويتوقف معامل الاختزال على الفواقد نتيجة لاحتكاك الهواء مع الأسطح الداخلية للمواسير. وقد يحدث بعض التبريد للهواء عند مروره من الداخنة أوالتكدس خلال أي جزء معرض (إلى الخارج)؛ ويجب استخدام معامل تقلص الهواء عند دخوله إلى الماسورة. ويقترح (Barre and Sammet)[5] استخدام قيم لهذا المعامل تتراوح من ٣,٠ إلى ٥,٠. وبالمثل فقد أوضح (ASHRAE)[4] أنه يمكن استخدام القيمة ٦٥,٠ بالنسبة لفتحات الهواء ذات الحواف الحادة، ولكن لم يذكر المرجع أي شيء بخصوص فواقد الاحتكاك. ويمكن استخدام قيمة إلى (θ) مقدارها من ٦,٠ إلى ٧,٠ في حالة افتراض تركيب مادة عازلة على الجزء الخارجي من الماسورة لتقليل فواقد التبريد.

السريان نتيجة تأثيرات درجات الحرارة

(Flow Due to Temperature Effects)

يمكن حساب معدل السريان بضرب السرعة في المساحة. وغالبًا مايكون معدل السريان المطلوب بالنسبة لتهوية حظيرة حيوانات معلومًا، بينما تكون المساحة المطلوبة غير معلومة. أيضًا يجب استخدام كل من مساحات مداخل ومخارج الهواء بالنسبة للتهوية الطبيعية باستخدام قانون الطفو. ويمكن تجميع تلك المساحات مع المعادلة رقم (٣ ,٥)، ويكون الناتج كالآتي:

$$(Q/A)^2 = \theta^2(2g)(H)(Ti - To)/Ti \qquad (٥ , ٤)$$

حيث:

Q = معدل التهوية ، م٣/ث

ويمكن تحويل المعادلة رقم (٤ ,٥) عند تساوي مساحة مقطع كل من المدخل والمخرج إلى:

$$A = (Q/\theta)(Ti/2g(H)(Ti - To))^{0.5} \qquad (٥ , ٥)$$

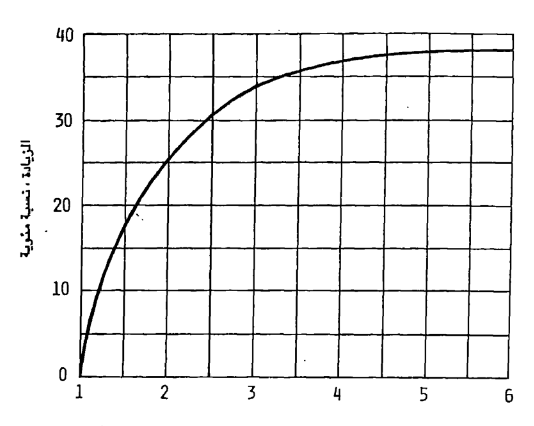
ويمكن في حالة عدم تساوي المساحات تصحيح معدل السريان باستخدام الشكل رقم (١٢ ,٥).

وقد تم استنباط المعادلتين رقمي (٤ ,٥) و(٥ ,٥) للاستخدام مع نظام تهوية من نوع التكدس أوالداخنة، ويمكن أيضًا تطبيقهما على المباني ذات فتحات التهوية سواء المركبة في السقف أوعلى الحوائط الجانبية. ويمكن اعتبار المبنى ككل في هذه الحالة كجزء من الداخنة مع مساواة مساحة فتحة المدخل مع مساحة فتحة المخرج. ويعرف الارتفاع هنا بالمسافة الرأسية بين كل من مدخل ومخرج الهواء .

التأثيرات المجمعة لكل من ضغط الرياح وفرق درجات الحرارة

(Combined Wind Pressure and Temperature Difference Effects)

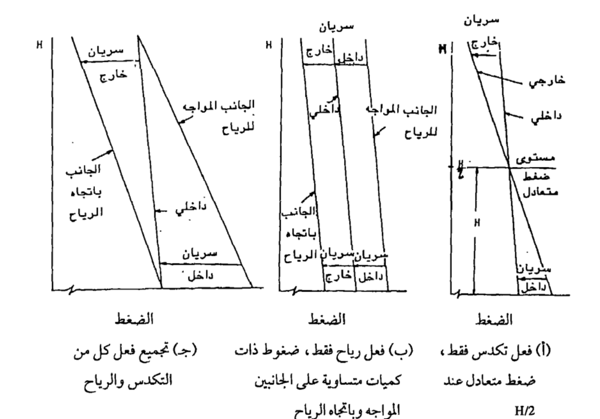
يعتمد اتساق فروق الضغط عبر هيكل مبنى على كل مصادر الضغوط الفعّالة وعلى توزيع الفتحات داخل المبنى. وعادة ما تكون الظروف المحددة سواء العظمى أو الدنيا مطلوبة في حسابات التصميم، وقد تهيمن في أغلب الأحيان قوة واحدة فقط تحت هذه الظروف. ولكن قد يكون من الضروري في حالات أخرى وخاصةً



شكل (١٢ ,٥). زيادة السريان نتيجة زيادة فتحة على أخرى (من ASHRAE[4]).

مع المباني الطويلة اعتبار قوى الضغط مجتمعة. وفي الغالب ما يكون لكل مبنى مشكلة فريدة، ويمكن وصف طبيعة عمل القوى من حيث الكمية بالرجوع إلى الشكل رقم (١٣ , ٥)[٤]. وتمثل هذه الإيضاحات توزيع كل من الضغوط الداخلية والخارجية على مبنى ذي فتحات تهوية متكافئة من حيث المساحة مع إهمال المقاومة الداخلية لسريان الهواء من أعلى إلى أسفل. ويجب ملاحظة أنه في حالة عمل القوتين معًا حتى مع التداخل، فإن سريان الهواء المتولّد لايساوي المجموع الكمي للقوتين. ويتناسب السريان خلال أي فتحة مع الجذر التربيعي لمجموع الضغوط المؤثرة على الفتحة.

ويلاحظ أنه من الصعوبة بمكان التنبؤ بكل من سرعة الرياح واتجاهها ودرجة الحرارة الخارجية ومعدل التهوية المستخدم. وتكون أبسط طريقة للتنبؤ عن طريق

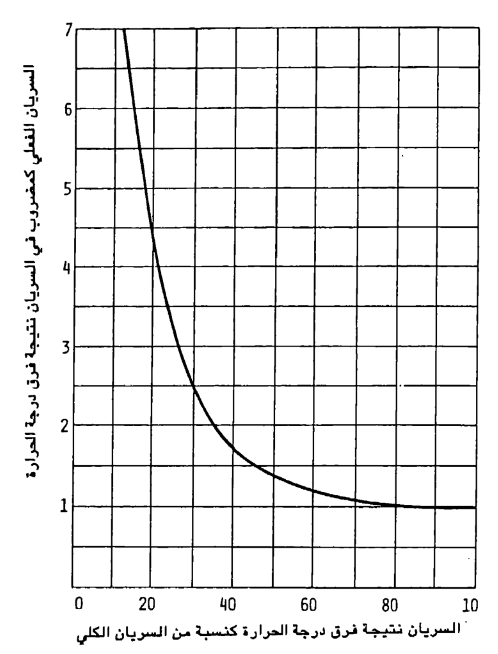


شكل (٥,١٣). توزيع الضغوط الداخلية والخارجية بالنسبة لارتفاع مبنى (من ASHRAE[4]).

حساب مجموع التدفقات من كل قوة على حدة، ثم استخدام نسبة السريان المتولد من القوى الحرارية إلى السريان المتولّد من قوى الرياح، ويعتبر السريان الفعلي هو محصلة تلك القوى. ويمكن تقريب الناتج باستخدام الشكل رقم (٥,١٤). ويكون السريان الفعلي أكبر بحوالي ٣٠٪ من السريان المتولّد من أي من القوتين[٤].

مثال

مبنى إنتاج حيواني بطول ٣٠ م وعرض ١٢ م وارتفاع الحائط الجانبي ٢,٤ م ونسبة ميل سطح المبنى ٤ : ١٢. تتم تهوية هذه المنشأة طبيعيًا عن طريق فتحة بطول المبنى وعرضها ٠,٠٨ م، والمبنى ذو سطح جمالوني ولا يوجد سقف. احسب معدل سريان الهواء لهذه المنشأة إذا كانت درجة الحرارة الخارجية -٢٠ ْم وسرعة الرياح ٥ م/ث.



شكل (٥,١٤). إيجاد السريان المتولد من تجميع قوى كل من الرياح وفرق درجات الحرارة (من ASHRAE[4]) .

الحل

أولاً : إيجاد معدل سريان الهواء نتيجة قوى الرياح باستخدام المعادلة رقم (٥,٢) :

$$Q=EAV$$

حيث :

E = ٠,٣٥

A = (٢)(٣٠ م)(٠,٠٨ م)

= ٤,٨ م٢

V = ٥ م/ث

Q = (٠,٣٥)(٤,٨ م٢)(٥ م/ث)

= ٨,٤ م٣/ث.

ثانيًا : إيجاد معدل سريان الهواء نتيجة القوى الحرارية باستخدام المعادلة رقم (٥,٣) :

$$V = \theta (2g(H)(Ti - To)/Ti)^{0.5}$$

حيث :

θ = ٠,٦٣

g = ٩,٨١ م/ث٢

H = الفرق في الارتفاع بين المدخل والمخرج

= ٢ م

Ti = ٢٠ + ٢٧٣ = ٢٩٣ ك

To = -٢٠ + ٢٧٣ = ٢٥٣ ك

V = ٠,٦٣ (٢)(٩,٨١)(م/ث٢)(٢ م)(٢٩٣ - ٢٥٣)/ ٢٩٣)^(٠,٥)

= ١,٨٤ م/ث.

∴ Q = A(V)

= (٤,٨ م٢)(١,٨٤ م/ث)

= ٨,٨ م٣/ث.

ثالثًا : إيجاد معدل السريان التقريبي باستخدام الشكل رقم (١٣ , ٥) :

السريان الكلي Q_t = ٨,٤ (م٣/ث) + ٨,٨ (م٣/ث)

= ١٧,٢ م٣/ث

والنسبة المئوية للسريان الحراري = (٨,٨\١٧,٢)×١٠٠٪

= ٥١,٢٪

وبما أن السـريان الفـعلي - بناءً على الشكل رقم (١٤ , ٥) - يعـادل ٢٧ , ١ مـرة السريان الناتج من القوى الحرارية ،
إذن السريان = ٢٧ , ١(٨ , ٨) (م٣/ ث)
= ٢ , ١١ م٣/ث.

توجيه المبنى
(BUILDING ORIENTATION)

تعتبر مباني الإنتاج الحيواني ذات الواجهة المفتوحة التحدي في عملية الاتزان بين كل من مداخل ومخارج الهواء. بديهيًا ، يجب على المصمم الأخذ في الاعتبار للظروف الجوية المحلية والخبرات عند دراسة كيفية المحافظة على أفضل تحكم في التيار الهوائي. فقد يكون في بعض الأماكن توجيه واجهة المبنى المفتوحة إلى الشرق هو المفضل ، ولكن في معظم الأماكن يجب توجيه واجهة المبنى المفتوحة نحو الجنوب ، وذلك للحصول على أقصى منفعة من حيث اختراق شمس الشتاء بالإضافة للحصول على تحكم مناسب للرياح.

وتوضح دراسة على المساحات المعرضة لضغوط هوائية- كما في الشكل رقم (٣ , ٥) - ما قد يحدث عندما تكون واجهة المبنى المفتوحة في الجهة التي تهب نحوها الرياح. فعلى سبيل المثال ، قد يتولد ضغط سالب على الناحية الغربية من الجانب الجنوبي وضغط موجب بطول الجانب المفتوح إذا كان اتجاه الرياح من الشمال الغربي والجانب الجنوبي من المبنى مفتوحًا. ويرجع السبب في ذلك إلى دوران الهواء من الجانب الشرقي إلى الجانب الغربي من المبنى ، وخاصةً بطول الحائط الخلفي. ويمكن التحكم جزئيًا في هذا التيار بتركيب حواجز صلبة بطول المبنى. وفي الغالب ما يوصى بوضع الحواجز على مسافات ١٥ مترًا أو في منتصف المسافة بالنسبة للمباني التي يقل طولها عن ٣٠ مترًا [٦].

ويُفضل توجيه مباني الإنتاج الحيواني المغلقة والتي يتم تهويتها طبيعيًا في اتجاه شرق - غرب. ويعمل هذا التوجيه على اكتساب المبنى لأقصى طاقة حرارية من شمس الشتاء المنخفضة ، كما يقلل من اختراق شمس الصيف المرتفعة. أما إذا كان توجيه المبنى في اتجاه شمال - جنوب ، وكان هناك جانب أو جوانب من المبنى

مفتوحةً للحصول على أقصى تهوية في فصل الصيف، فإن هذا التوجيه سوف يسمح باختراق غير مرغوب فيه لأشعة الشمس في فترة الصباح وبعد الظهيرة.

فتحات التهوية الطبيعية في المباني الباردة
(OPENINGS FOR NATURAL VENTILATION OF COLD BUILDINGS)

تعتبر الفتحات التي بطول مبنى مفتوح من الجهة الأمامية ذات تأثير غير جوهري على حركة الهواء الكلية. ويرجع السبب في ذلك إلى التأثير الكبير للجهة الأمامية المفتوحة من المبنى. وتساعد هذه الفتحة على تفريغ الهواء الداخلي الدافىء والمحمل بالرطوبة. ويعتبر ذلك ضروريًا للمساعدة في حفظ درجة الحرارة الداخلية أعلى قليلاً من درجة الحرارة الخارجية وإلى تقليل فرصة تكثيف الماء.

ويتضح بناءً على الخبرات السابقة أن عرض فتحات التهوية بالنسبة لمباني الإنتاج الحيواني التي يتم تهويتها طبيعيًا يجب أن يكون حوالي ٢,٥ سم لكل مترين من عرض المبنى، أو أن تكون المساحة الخالصة من فتحة التهوية حوالي ١,٥٪ من مساحة أرضية المبنى. وتعتبر فتحات التهوية غير المغطاة مقبولةً جدًا بالنسبة لحظائر الماشية. أما مباني الورش ومخازن الآلات فقد تحتاج إلى طرق تهوية خاصة لتجنب الأمطار. ولا ينصح بمد ميل السطح الشمالي فوق الجهة الجنوبية لتشكيل فتحة مراقبة؛ نظرًا لأن أي فتحة قد تعمل كمدخل بدلاً من مخرج للهواء عندما تكون الرياح جنوبية.

ويجب أن تحتوي حتى المباني ذات الواجهات الأمامية المفتوحة على بعض الفتحات في الحوائط الخلفية. وتسمح تلك الفتحات بدخول بعض الهواء إلى المبنى من الجانب المواجه للرياح، وذلك لتعديل اتساق الضغط عند الواجهة المفتوحة. ويرجع السبب في ذلك إلى أن تلك الواجهة الأمامية المفتوحة هي المسببة لسريان الهواء إلى داخل المبنى. ويمكن توفير هذه الفتحات الخلفية بعدة طرق منها: في مكان مرتفع أسفل الحد الفاصل بين الحائط الرأسي والسطح المائل؛ في مكان منخفض عند ارتفاع أعلى قليلاً من الأرضية مع توجيه عاكس الهواء إلى أعلى؛ أو بعمل حيّزات هوائية باستخدام ألواح خشبية. ويجب أن تكون المساحة الكلية

للفتحات الهوائية في الحائط المواجه للرياح على الأقل نصف مساحة فتحات التهوية.

ويجب أن تحتوي المباني الباردة المغلقة الجوانب وذات التهوية الطبيعية - مثل حظائر الحيوانات الحرة الطليقة أو مباني تخزين الآلات - على فتحات تهوية جانبية لخروج الهواء، وعلى فتحات أخرى لدخول الهواء مساوية لفتحات الخروج وموزعة بانتظام على الحوائط الجانبية. وقد تكون الفتحات الجانبية بالنسبة لحظائر الحيوانات الحرة الطليقة عبارة عن أبواب يمكن فتحها للتهوية الصيفية.

فتحات التهوية الطبيعية للمباني الدافئة

(Openings for Natural Ventilation of Warm Buildings)

يُكتفى في بعض مباني الإنتاج الحيواني بعملية التهوية الداخلية عن طريق عمل فتحات لدخول وخروج الهواء على الحائط الجنوبي فقط. ويوصى بعمل فتحة طولية لخروج الهواء بالنسبة للمباني ذات الأسطح الجمالونية، وذلك لتولد ضغط سالب عبر فتحة الهواء بغض النظر عن اتجاه الرياح. وقد يضمن هذا التصميم سريان للهواء أكثر انتظامًا خلال أجزاء المبنى عن ما لو تم وضع فتحات الهواء على جانب واحد فقط من المبنى. ويرجع السبب في ذلك إلى أن أي حائط من المبنى معرض لأن يكون في بعض الأحيان في اتجاه الرياح، وفي البعض الآخر في الاتجاه المعاكس لاتجاه الرياح.

ويمكن حساب مساحة فتحات التهوية بالنسبة للمباني الدافئة ذات التهوية الطبيعية باستخدام المعادلة رقم (٢ , ٥). ونظراً لأن الأجواء الحارة قد تتطلب فتحات ذات مساحة من ١/٣ إلى ١/٢ من مساحة الحائط الجانبي، فإنه يُقترح أن يتم تصميم فتحة التهوية للحصول على أقل متطلبات تهوية بالنسبة لفصل الشتاء. ومعدل السريان المفترض (Q) في المعادلة رقم (٢ , ٥) عبارة عن الحجم المطلوب للمحافظة تقريبًا على درجة حرارة ١٥°م و٧٥٪ رطوبة نسبية، وذلك كما تم الحساب باستخدام منحنيات الاتزان الحراري والرطوبي. ويُقترح سرعة تصميمة للرياح مقدارها ٣ , ٤ (م/ث).

ويجب أن تكون الفتحات الجانبية مساوية للفتحات الموجودة على الحافة بين سطح المبنى والحائط الجانبي، كما يجب أن تُقسّم أيضًا تلك الفتحات بالتساوي على الحائطين الطوليين للمبنى. ويزداد معدل سريان الهواء في الأجواء الحارة بزيادة سرعة الرياح وانخفاض درجة الحرارة الداخلية. ولحسن الحظ لا يعتبر التغيّر في درجات الحرارة من ٢٠ إلى ١٠°م أو أقل في بعض الفترات بالنسبة للمباني التي تستخدم التهوية الطبيعية في الأجواء الباردة مشكلة كبرى، حيث تكون التغيّرات الجذرية في سرعة سريان الهواء مقبولة. وهناك في بعض الأحوال العواصف الشتوية ذات درجات الحرارة المنخفضة بالإضافة إلى السرعات العالية للرياح والتي تؤدي إلى ضرورة خفض حجم فتحات التهوية.

وسوف ترتفع درجة الحرارة الداخلية إلى أعلى من ٢٠ °م عند زيادة درجة الحرارة الخارجية أو انخفاض سرعة الرياح. ومن المرغوب تحت هذه الظروف زيادة حجم فتحات التهوية.

ونظراً لأن الأبواب الجانبية في الأجواء الحارة سوف تُكوّن جزءاً من نظام التهوية، فإنه يمكن استخدام تلك الأبواب كفتحات جانبية لمعادلة الاحتياجات المطلوبة بالنسبة للأجواء الباردة. ولكن تكمن مشكلة هذه الأبواب في أنها غير محكمة الغلق لمنع التهوية الزائدة أثناء العواصف الشتوية القارسة، وخاصةً إذا لم يكن هناك أيضًا تحكم في فتحات التهوية.

أنواع أبواب الحوائط الجانبية (Types of Sidewall Doors)

يكون الباب المحوري المركزي في حالة اتزان بحيث يمكن بسهولة فتحه بالأيدي أو باستخدام ونش. ولكن عادة ما تحتوي هذه الأنواع من الأبواب على فتحة بكامل العرض، حتى ولو كان الباب محكم الغلق. وقد يُسبب فتح الباب ولو قليلاً صعوبة في عملية التحكم في حجم فتحة المدخل وبالتالي معدل الهواء، مما قد يُعرّض الحيوانات لتيارات هوائية.

وتعتبر الستائر المصنوعة من البلاستيك خفيفة الوزن بحيث يسهل فتحها وغلقها بالأيدي. وتفتح هذه الستائر من أعلى إلى أسفل بحيث يدخل الهواء مرتفعًا، وبالتالي تقل فرصة تعرّض الحيوانات للتيارات الهوائية. وتعتبر الستائر وسيلة غير جيدة للعزل الحراري، حيث تُفقد الحرارة من الجانبين في الأجواء الباردة.

وتكون الطريقة الأخرى لتوفير فتحات تهوية من أعلى إلى أسفل عن طريق استخدام الألواح المنزلقة. ويمكن تركيب مادة عازلة لتلك الألواح، ولكن من عيوبها ثقل الوزن، وقد تحتاج إلى أوزان مضادة لسهولة الضبط باستخدام وسيلة رافعة. وأحد مميزات هذه الطريقة أنها لاتعوق الحركة في الممرات داخل المبنى.

وفي الغالب ما تكون الأبواب المعلقة من أعلى أو من أسفل محكمة الغلق، وبالتالي يمكن التحكم في حجم الفتحة بعناية. وتعتبر الأبواب المعلقة ثقيلة الوزن وبالتالي صعبة التحكم، بينما قد يعوق الباب المصمم للتأرجح داخل المبنى من الحركة في الممرات.

وتبدو عملية الاهتمام والتحكم في حركة الأبواب أوالستائر ذات أهمية أكثر من أنواع الأبواب نفسها[٧]. فمن الأرجح أن تكون الأبواب الجانبية محكمة الغلق عندما تنخفض درجة الحرارة إلى - ١٠ °م، بينما يجب أن تكون الأبواب مفتوحةً كاملاً عندما تكون درجة الحرارة أعلى من ٢٢ °م. وتعتمد عملية ضبط فتح وغلق الأبواب والستائر بانتظام على كل من درجة الحرارة وظروف الرياح، وخاصةً إذا كانت درجة الحرارة تقع ما بين - ١٠ و٢٠ °م.

ويمكن القيام بعملية التحكم في فتحات التهوية يدويًا إذا كان المبنى صغيرًا، وفي حالة وجود أحد الأفراد معظم الوقت داخل المبنى لتغيير مساحة فتحات التهوية مع تغير الظروف الجوية. ولكن من الممكن أيضًا التحكم في حركة فتح وغلق فتحات التهوية آليًا باستخدام جهاز حس حراري متصل بالروافع. ويوضح الفصل التاسع كيفية اختيار نظم التهوية وطرق التحكم فيها " نظم تهوية المنشآت الحيوانية ".

أنواع الفتحات الجانبية العلوية (Types of Ridge Openings)

تأخذ هذه الأنواع من الفتحات أشكالاً عديدة، ويجب أن تصمم بحيث تنحرف الرياح للمحافظة على ضغط سالب عبر الفتحة. وهناك القليل من مراوح التهوية التي يمكن التحكم في حجم الاختناقات بها. وقد تم تطوير معظم هذه الأنواع عن طريق إضافة كل من صندوق مصنوع من الخشب الرقائقي وحبل وباب ذي بكرة لسهولة التحكم في فتحة التهوية.

وتعتبر فتحات التهوية غير المغطاة مقبولة في معظم الظروف. وفي الغالب مايكون هناك ضغط سالب عند فتحات التهوية، ولذلك فإن الأمطار الغزيرة فقط قد تدخل إلى المبنى. ولكن تعتبر هذه الكمية من المياه قليلة بالمقارنة بكمية المياه التي أمكن تجنبها بحماية الحيوانات داخل مبنى. ويجب أن تستخدم الفتحات غير المغطاة فقط مع الأبواب الجانبية التي يمكن غلقها في حالات العواصف الشتوية القارصة. وتعمل فتحات التهوية في حالة إحكام غلق الأبواب الجانبية كمدخل ومخرج للهواء معًا. وقد يحدث في بعض الأحيان تسرب للثلوج، ولكن يمكن المحافظة على درجة الحرارة أعلى قليلاً من التجمد عن طريق خفض معدل التهوية المستخدم في مبنى ممتلىء بالحيوانات.

ولاتعتبر التهوية الطبيعية بالمعنى الدقيق علمًا، كما أنه يمكن حساب أحجام فتحات التهوية سواء للدخول أو للخروج بالطرق السابق شرحها. ولقد أوضحت الملاحظات على المباني المشيّدة أنه يمكن أن تؤدي أحجام فتحات التهوية الغرض عند تعرضها لمدى واسع من الظروف الجوية، وأيضًا عندما يكون الحيوان داخل المبنى قادراً على مقاومة درجات الحرارة حتى ١٠°م. ولكن يجب على المُربي أن يكون يقظًا بالنسبة للعواصف الشتوية القارصة، وقادراً على عمل بعض التعديلات المؤقتة على نظام التهوية، وخاصةً عن طريق سد التشققات أو غلق فتحات خروج الهواء. وقد لايتجاوز الجهد المبذول مثلاً الجهد لتعويض انقطاع التيار الكهربائي عن نظام تهوية يستخدم مراوح.

تهوية العلّيّة

(ATTIC VENTILATION)

هناك بعض المباني الزراعية التي تستخدم الحيّز الهوائي المحصور بين السطح الجمالوني وسقف المبنى كمصدر للتهوية الميكانيكية بالنسبة للحيز أسفله. ويعتبر سقف المبنى في هذه الحالة أرضيةً لهذه العلّيّة، ويتم معادلة أو تلطيف درجة حرارة هذا الهواء عن طريق التلامس مع السطح السفلي لسقف المبنى، أوعن طريق إمرار الهواء من خلال مجمع شمسي. ويعتبر حجم العلّيّة تحت أي الظروف ثابتًا، ومن الممكن الحصول على سرعات للهواء أقل من ٥ م/ث باستخدام التهوية الميكانيكية.

ويمكن استخدام التهوية الطبيعية في المبنى في حالة عدم استخدام هواء العلِّية، وذلك لمنع تراكم الرطوبة في الشتاء ولإزالة الحرارة الزائدة في الصيف.

معدل التهوية المطلوب (Amount of Ventilation Required)

تم تجميع معظم البيانات المتوافرة عن تهوية العلِّية بغرض التخلص من الرطوبة من ذلك الحيز. وتقترح (FHA) أن يكون أقل معدَل تهوية مطلوبًا للتخلص من الرطوبة من علِّيات المنازل ١٦ ,٠*(١٠)$^{-٤}$ (م^{٣}/ث) لكل م^{٢} من مساحة أرضية العلِّية. ويجب مراعاة أن حمل الرطوبة داخل مباني الإنتاج الحيواني أكبر بكثير منه بالنسبة للمنازل السكنية. ولازال يقدم (ASHREA) نفس القيمة السابقة بالنسبة للأسطح الجمالونية، ولكن يوضح أيضًا أن هذه القيمة سوف تتناقص بإضافة مواد عازلة جديدة لأسقف المباني[٤]. وتتطلب عملية إضافة مادة عازلة زيادة معدل التهوية، والذي من شأنه ضرورة اختيار مستوى مناسب من المادة العازلة.

ويقترح (Wolfert and Hinrichs)[8] قيمة لمعدل التهوية في الشتاءللتخلص من الرطوبة بين ٢*(١٠)$^{-٤}$ و ٥*(١٠)$^{-٤}$ م^{٣}/ث لكل م^{٢}من مساحة أرضية العلِّية. وتُستخدم القيم السابقة بالنسبة للأسقف التي تحتوي على مواد عازلة ذات جودة عالية. وتتراوح القيم المقترحة للتهوية في فصل الصيف ما بين ٧*(١٠)$^{-٤}$ و١٠*(١٠)$^{-٤}$ م^{٣}/ث لكل م^{٢}من مساحة أرضية العلِّية. وتعتبر تلك المعدلات غير عملية بالنسبة لفصلي الشتاء والصيف، نظرًا لاعتماد التهوية الطبيعية على فتحات التهوية، والتي في الغالب ما تكون ثابتة. وفي الغالب ما يُقترح استخدام معدل التهوية المستخدم في الصيف بالنسبة للأغراض التصميمية.

الحصول على معدل التهوية المرغوب

(Achieving the Desired Ventilation)

تحدث التهوية الطبيعية كما تمت مناقشتها نتيجةً للقوى المتولدة من كل من الرياح وفرق درجات الحرارة. وتُشكل فتحة التهوية الجانبية ذات الحافة الحادة في الغالب مساحة معرضة لضغط سالب بالنسبة لقوى الرياح، بينما تكون المساحات الداخلية على جانبي فتحة التهوية معرضة لضغط رياحي موجب على الأقل في

نصف المساحة . وتتيح التهوية بهذه الطريقة الاستفادة من أقصى ارتفاع للتهوية الناتجة عن قوى فرق درجات الحرارة .

ويوضح الجدول رقم (٤ , ٥) سعة الفتحات المطلوبة بالنسبة لعدة أنظمة تهوية مختلفة . ويرجع السبب في الانقسامات الواضحة بالنسبة للمساحات الموصى باستخدامها بالنسبة لمداخل التهوية في فصلي الصيف والشتاء إلى الفرق في معامل قيم الكفاءة (E) بين كل من التشغيل الصيفي والشتوي، المعادلة رقم (٢ , ٥) . ويمكن حساب مساحة التهوية الكلية المطلوبة لأي مبنى عن طريق المعلومات المدونة في الجدول رقم (٤ , ٥) مضروبًا في مساحة العلّيّة بالأمتار المربعة . وتُقسم المساحة المحسوبة بالتساوي بين الموضعين عند وقوع بيانات نوعين من المداخل على نفس الخط مثل فتحات التهوية " ذات الأطراف الحادة المستمرة والأطراف المنبسطة المستمرة " .

جدول (٤ , ٥) ، مساحة فتحة التهوية المطلوبة بالمتر المربع لكل ١٠٠ م^{٢} من مساحة أرضية العلّيّة؛ بفرض أن سرعة الرياح ٣,٣٥ م/ث (٧,٥ ميل/ساعة) لكل من فصلي الشتاء والصيف.

نظام الفتحة	المعدل الصيفي		المعدل الشتوي	
	٧×١٠$^{-٤}$ (م^{٣}/ث)	١٠×١٠$^{-٤}$	٢×١٠$^{-٤}$	٥×١٠$^{-٤}$
فتحات سطحية	٢,٣	٣,١	٣,١	٧,٧
فتحات منبسطة	٢,٠	٢,٧	١,٨	٤,٥
فتحات جمالونية	١,٧	٢,٣	١,٤	٣,٥
فتحات سطحية ومنبسطة	٢,٢	٢,٩	١,٧	٤,٢
فتحات جمالونية ومنبسطة	١,٩	٢,٥	١,٧	٤,٢
فتحات مستمرة	١,٠	١,٣	٠,٣	٠,٧

المراجع

1 Hinrichs, H. S. and C. K. Wolfert. 1977. Wind and the ventilation of agricultural buildings, H. C. Products Co., Princeville, IL 61559.

2 ASAE. 1981-82. Agricultural Engineers Yearbook. 23rd Edition, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI 49085.

3 ESSA. 1968, Climatic atlas of the United States. U.S. Department of Commerce, Supt. of Documents, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. 20402.

4 ASHRAE. 1981. Handbook of fundamentals, Ch. 21, Moisture in building construction, and Ch. 22, Infiltration and ventilation. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA 30329.

5 Barre, H. J. and L. L. Sammett. 1950. Farm structures, John Wiley and Sons, Inc., New York, N. Y.

6 MWPS. 1975. Beef housing and equipment handbook. Midwest Plan Service, Iowa State University, Ames, Iowa 50011.

7 Jedele, D. G. 1977. Natural ventilation of buildings for swine finishing and gestation. ASAE Paper No. 77-4525, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

8 Wolfert, C. K. and H. S. Hinrichs. 1974. Fundamentals of residential attic ventilation. H. C. Products Co., Princeville, IL 61559.

الفصل السادس

التبريد التبخيري*

(EVAPORATIVE COOLING)

• نظرية التبريد التبخيري •تطبيق الأساس •تصميم المبرد •نوع مادة الوسادة • تركيب الوسادة • سماكة وكثافة الوسادة • سرعة الهواء • سريان الماء في الوسائد • المعدلات المرتجعة وسعة الحوض المائي • التبريد التبخيري للدجاج اللاحم وللبيوت المحمية ولحظائر الماشية الحلابة ولإنتاج أبقار اللحم

تعتبر عملية التبريد التبخيري من الوسائل الاقتصادية الشائعة الاستخدام في تحسين الوسط الهوائي المنزلي في الأجواء الجافة، بالإضافة إلى العديد من التطبيقات العملية في الزراعة. ولقد أصبحت هذه العملية من أفضل طرق التبريد في كل من مباني الدواجن والبيوت المحمية، كما أصبحت تُستخدم في معظم مباني الإنتاج الحيواني في الجنوب الغربي من الولايات المتحدة.

وتُصمم البيوت المحمية ومباني الإنتاج الحيواني في المناطق الشمالية من الولايات المتحدة لمقاومة الظروف الجوية الباردة، بينما لايُترك مجال كبير أمام المربي للاختيار عند تعرض هذه المباني لموجات حر في فترة الصيف. وقد تؤدي الموجات شديدة الحرارة إلى نفوق العديد من الحيوانات إذا لم تتوافر طرق لتخفيف شدة الحرارة. ولكن تكون معظم الفواقد في شكلها الدقيق ممثلةً في قلة الإنتاجية أو انخفاض معدل الولادات. ويمكن تقليل الفواقد الناتجة من الإجهاد الحراري باستخدام تصاميم مناسبة من نظم التبريد التبخيري.

---

* فرانك ويرسما : جامعة أريزونا - تاكسون

تيد شورت : مركز أوهايو للأبحاث والتطوير الزراعي - وستر

نظرية التبريد التبخيري

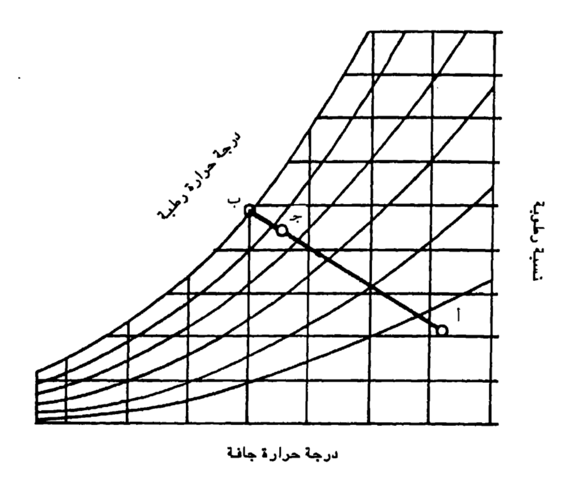
(THEORY OF EVAPORATIVE COOLING)

يحدث انتقال كل من الكتلة والحرارة عند تلامس هواء غير مشبّع مع رطوبة حرة ، والاثنان معزولان حراريًا عن أي مصدر حراري خارجي. ونظراً لأن ضغط البخار لسطح الماء الحر أعلى من ضغط الهواء غير المشبع، فسوف يحدث انتقال للماء نتيجةً لهذا الفرق في الضغط. ويتضمن الانتقال حرارة تبخير تعمل على تغيير الحالة من سائل إلى بخار. وتأتي الحرارة المطلوبة لتغيير تلك الحالة من المحتوى الحراري المحسوس لكل من الهواء والماء، مما ينتج عنه انخفاض درجة حرارة كليهما. ويحدث انتقال حرارة بانخفاض درجة الحرارة في منطقة التداخل اللحظية والتي ينشأ عنها فرق في درجة الحرارة خلال مخلوط الهواء - بخار، وذلك لوصول النظام ككل إلى حالة اتزان ثرمو-ديناميكي.

ولن يحدث أي تغيير للمحتوى الحراري الكلي؛ نظرًا لعدم وجود أي إضافة حرارية للعملية نفسها. ومايحدث هو تحول حراري من الصورة الكامنة إلى الصورة المحسوسة بدون أي اكتساب أوفقد للحرارة (تبادل أدياباتي). ولكن يحدث تغير في الوسط الهوائي نتيجة للتغير في حالة الماء ودرجة حرارة مخلوط الهواء - بخار. وعامةً يوجد تحسن في الظروف عند حدوث هذا التبادل.

ويكون أفضل وصف لهذه العملية عن طريق الخريطة السيكرومترية الموضحة في الشكل رقم (١ ,٦). فإذا كانت النقطة (أ) تمثل ظروف الهواء الخارجي الداخل إلى مبرد، فإن ظروف المخلوط تتبع خط درجة الحرارة الرطبة حتى نقطة (ب) التي أصبحت مشبّعةً تمامًا. ولكن قد يخرج الهواء في حالة عدم الوصول إلى التشبّع الكامل عند الحالة (جـ). وتؤدي عملية التبريد التبخيري إلى انخفاض درجة الحرارة الجافة وزيادة الرطوبة النسبية عند ثبات درجة الحرارة الرطبة.

ويعتبر المصطلح "كفاءة المبرد التبخيري" شائع الاستخدام لتحديد كفاءة التشبّع. ويعبر عنه بالنسبة بين درجة التشبّع إلى أقصى درجة من التشبّع يمكن الوصول إليها. والكفاءة عبارة عن حاصل قسمة المسافة (أ جـ) على المسافة (أ ب). ويُفترض ظروف الحالة المستقرة بالنسبة للقيمة الناتجة، مع عدم تغّير درجة حرارة



شكل (٦,١). إضافة رطوبة للهواء مع ثبات المحتوى الحراري

الماء المتداول.

وتساعد كفاءة التشبع في وصف كفاءة المبرد، ولكنها لاتحدد سعة التبريد. ويمكن حساب سعة التبريد بمعلومية كل من الانخفاض في درجة الحرارة أو الكفاءة وكمية الهواء المستخدم.

ونظراً لأن العملية أدياباتية- أي لايوجد أي فقد أو اكتساب للحرارة - فإن تقدير مبرد تبخيري بوحدات حرارية مثل كيلو چول أو كالوري يعتبر تقديراً مضللاً.

فلا يوجد نقل حراري فعلي كما يحدث في أجهزة التكييف. وتستخدم في بعض الأحيان الوحدة المعروفة بكفاءة المبرد التبخيري (Evaporative Cooler Performance, ECP) لتقدير كفاءة المبرّدات[١]. وقيمة (ECP) عبارة عن عدد الوحدات الحرارية الداخلة في التبادل، والتي يمكن حسابها كحرارة محسوسة أو كامنة. ولكن لاتستخدم الوحدة (ECP) في قياس أداء مطلق تحت ظروف أساسية تسمح بالمقارنة.

ونظراً لاعتماد كمية التبادل الكلية على الانخفاض الرطب، فتكون وحدة تحسين القياسات [1] (Unit ECP) حيث:

$$\text{Unit ECP} = \text{ECP/wet bulb depression} \quad (٦,١)$$

وتصف هذه الوحدة تأثير التبريد المتولد في الساعة لكل درجة من التبريد الكامن، بالإضافة إلى تحييد المتغيرات المرتبطة بالظروف المحلية.

تطبيق الأساس

(APPLYING THE PRINCIPLE)

نجد عند استخدام أساس التبريد التبخيري في مبنى أن العملية تتم ببطء طالما وُجد هواء يتلامس مع سطح ماء حر. ويمكن الإسراع من معدل انتقال الحرارة والكتلة عن طريق زيادة دفع حركة الهواء المار على مساحة أكبر لسطح ماء التبخير.

ويتم باستخدام المراوح الحصول طبيعيًا على هذه الحركة. ويوجد العديد من الإمكانات بالنسبة لتوفير مساحة أكبر لسطح الماء، ولكن من الناحية العملية لايوجد إلا طريقتان فقط يمكن استخدام إحداهما. فإما أن يتم حقن الماء مباشرةً في المجرى الهوائي في صورة رذاذ دقيق، أوأن يتم دفع الهواء من خلال مواد مسامية مبلّلة بالماء[٢،٣]. ويعتبر استخدام نظام الوسائد المسامية المبلّلة النظام الشائع الاستخدام.

وتوجد أيضًا عملية الترذيذ بالحقن والتي تسمى غسيل الهواء، حيث يتم في الغالب التحكم في الرطوبة كهدف أساسي بدلاً من التبريد. ويتطلب هذا النظام تصميمًا جيداً وأجهزة مكلفة نسبيًا، وذلك للحصول على التحكم المرغوب مع أقل كمية من قطرات الماء غير المتبخرة. وقد تكون تكاليف عملية التشغيل مرتفعة؛ نظراً

لما يتطلبه هذا النظام من أجهزة ضغط وتنقية للماء، وذلك للمحافظة على اتساق في تشغيل البشابير. وتستخدم العديد من النظم ضغوطًا مرتفعة قد تصل حتى ٢٥٠٠ كيلو باسكال.

وتكون عملية إمرار هواء خلال مادة مسامية أو وسادة مبللة بالماء الطريقة الأكثر شيوعًا للحصول على تلامس الهواء بالرطوبة. ويمكن أن تتم عملية إبلال المادة المسامية بالماء عن طريق تنقيط الماء من فوق الحافة العلوية للمادة المسامية المركبة رأسيًا، أو بترذيذ الماء على السطح المقابل للهواء، أو عن طريق دوران المادة المسامية التي على شكل أسطوانة أفقية وجزؤها السفلي مغمور في الماء. ويُطلق على هذه الطرق على الترتيب بالأنواع ذات المنقطات أو الترذيذ أوالدورانية.

ويتم دفع الماء في نظام الترذيذ في اتجاه مع - بدلا من عكس - سريان الهواء، بحيث يتم التركيب في الموضع بين المادة المسامية والمروحة. ويعتبر ذلك ضروريًا لمنع تجريف قطرات الماء بعيدًا عن مادة المبرد، خاصةً إذا تم تركيب المبرد في الأجواء الخارجية. وتعتبر القدرة المطلوبة لعملية إبلال المادة المسامية في هذا النظام أكبر منها في المبرد ذي المنقطات.

ويتكون المبرد الدوراني من أسطوانة أفقية كبيرة مغطاة بطبقة من المادة المسامية على السطح. ويتم إحكام غلق أحد أطراف الأسطوانة، بينما يحتوي الطرف الآخر على المروحة أو فتحة خروج الهواء. ويُغمر ثُلث الأسطوانة السفلي في حوض مائي. وتتم عملية الإبلال للمادة المسامية بكفاءة عند دوران الأسطوانة. ولاتوجد الحاجة إلى قدرة تستخدم في ضخ الماء، بينما تكون القدرة مطلوبة فقط لدوران المادة المسامية. وبالرغم من أن استخدام المادة المسامية الدوّارة يعتبر مكلفًا في البداية، إلا أن من أهم مميزات هذا النوع من التبريد عملية الغسيل المستمر للمادة المسامية ووجود ضغط موجب بسيط لتصرف الماء، مما يؤدي إلى انخفاض تراكم تركيزات المواد المعدنية.

تصميم المبرّد

(COOLER DESIGN)

تعتمد كفاءة المبرد اعتماداً كبيراً على مدى أداء المادة المسامية. ولكي نصل بالهواء قريبًا من درجة التشبّع، فإنه يجب تعريض أقصى مساحة مبللة ممكنة من المادة المسامية للهواء المار وبعمق يسمح بالحصول على زمن كاف من تلامس الماء والهواء. ويجب مراعاة استخدام المواد المسامية التي تسبب أقل مقاومة لسريان الهواء، وأن تكون أيضًا قادرة على مقاومة التفسّخ والاضمحلال والمحافظة على تماسكها وشكلها الأصلي. وقد يتطلب الأمر في بعض التطبيقات الخاصة مثل الأبحاث أو إنتاج نبات معين وضع فلتر لتنقية الهواء من الأتربة وحبوب اللقاح والحشرات. ولكن يندر وجود عملية تنقية للهواء في التطبيقات الزراعية.

وبصفة عامة، يعتبر الوصول إلى مستويات معقولة ومقبولة من متطلبات تصميم الوسادة بالنسبة للأداء المزرعي بسيطًا نسبيًا. ولكن يعتبر من الصعوبة تحديد متطلبات مستوى أداء مرتفع بالنسبة لمدى واسع من ظروف التشغيل.

نوع مادة الوسادة

(PAD MATERIAL)

تحاول المصانع استخدام العديد من المواد مثل الخشب والمعادن والزجاج، ويتم حديثًا استخدام البلاستيك والأسمنت. وفي الغالب تتيح المواد المسامية أفضل كفاءة تبريد بالنسبة للمبردات التي تستخدم طريقة التنقيط حيث سريان الماء محدود. ومع أن المواد الجامدة تقاوم التفسّخ وتعيش مدة أطول من الخشب، إلا أن تلك المواد لا تتوافر فيها خاصية الماصية مثل "الفتائل - المتناظرة" التي تضمن توزيعًا جيداً للماء. فيجري الماء بالنسبة للمواد الأقل مسامية إلى أسفل المادة المسامية في قطرات كبيرة، مخلفًا مساحة سطحية مبللة أقل.

وتعتبر نُجارة خشب حور الرجراج من أفضل المواد استخدامًا كمادة مسامية في المبردات. ومع أن هذا النوع من أكثر المواد الخشبية مقاومة للتفسّخ، إلا أن فساد

وتعفن المواد الخشبية تعتبر المشكلة الرئيسية التي تؤدي إلى فقدان الكثير من كفاءة تلك المواد، وخاصةً بعد السنة الأولى من الاستخدام. ويمكن المحافظة على كفاءة المبرد لفترة أطول عن طريق غسيل المادة المسامية بماء نقي في منتصف الموسم على أن يتم استبداله مرة كل موسم.

وتُصنّع الوسادات الصلبة من مادة كلوريد الفينيل المتعدد (PVC) مع إضافة مواد حافظة ضد التعفن، أو من تفل قصب السكر المغطى بالأسمنت. وتأخذ مادة (PVC) والمواد المسامية الورقية شكل تصاميم "الأخاديد - المتقاطعة" مع سريان الهواء في اتجاه عكسي أو متقاطع. وغالبًا ما تأخذ تلك الوسادات سماكات تتراوح من ١٠ إلى ٣٠ سم. وتعتبر المواد المسامية أكثر تكلفةً بالنسبة لوحدة المساحات من مواد مثل نُجارة الخشب، ولكن يمكن الحصول مع تلك المواد على كفاءة تبريد مرتفعة عند سرعات عالية للهواء، مما يعني إمكانية استخدام مساحة صغيرة لكل سريان هوائي معطى. ونجد بالإضافة إلى ذلك أن الغرض من هذا النوع من الوسادات العمل حتى أقصى عمر افتراضي بعكس نُجارة حور الرجراج التي تُستبدل سنويًا.

وتستخدم الوسادات المصنّعة من تفل قصب السكر المغطى بالأسمنت سماكة في حدود ٢,٥ سم، وتعمل لمدة عشر سنوات على الأقل. وتعتبر هذه الوسادات مكلفةً في البداية وثقيلة الوزن (١٨ كجم/ م٢). ويوصى باستخدام سرعة هواء منخفضةً نسبيًا (٧٥, م/ث) مع هذا النوع من الوسادات، بالإضافة إلى زيادة التكلفة مع كل زيادة مطلوبة في المساحة بالنسبة لحجم سريان معطى.

وتشير كل التقارير والأبحاث المنشورة إلى تساوي كفاءة التبريد مع كل هذه الأنواع من الوسادات. ولكن تعتمد معظم هذه النتائج على استخدام وسادات نظيفة مع قلة المعلومات المتاحة بالنسبة لأداء الفصول اللاحقة. فغالبًا مايحدث تراكم من الأتربة والأملاح على الوسادات من النوع الدائم الاستخدام في التطبيقات الزراعية.

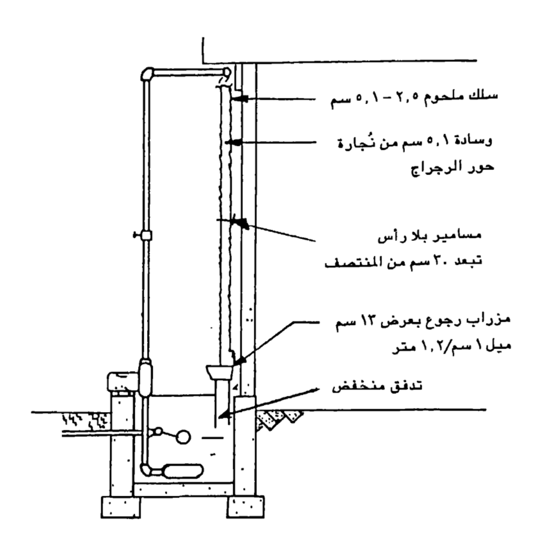
تركيب الوسادة

(PAD ORIENTATION)

يتم تركيب الوسادة بالنسبة للتطبيقات الزراعية بطول أحد جوانب أو نهاية المبنى على أن تركب المراوح الطاردة لهواء العادم على الجانب المقابل. ويكون ارتفاع الوسادة حوالي من ٥ , إلى ٥ , ٢ م عند التركيب رأسيًا، وذلك بغرض الحصول على توزيع منتظم لسريان الماء.

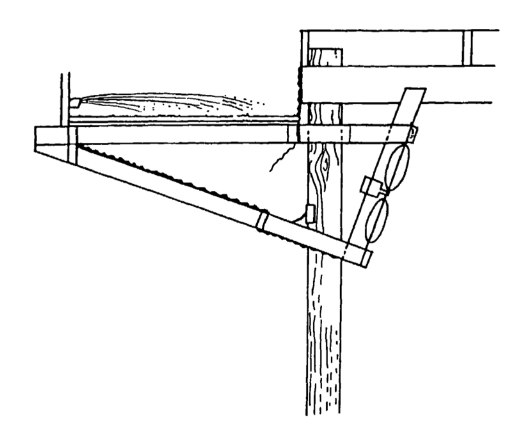
أما بالنسبة للمناطق ذات تراكيز الأتربة المرتفعة، ففي الغالب مايؤدي استخدام نظام تنقيط مع وسادة رأسية إلى انسداد كامل للوسادة بجزيئات الأتربة، مما يؤدي إلى إعاقة سريان الهواء، الشكل رقم (٢ , ٦). ويعني ذلك انخفاض سعة التبريد الكلية انخفاضًا ملحوظًا. ويسبب استخدام هذا النظام مشكلة خطيرة بالنسبة للتطبيقات الزراعية، وخاصةً تلك التي تتضمن تربية ماشية. ويكون النظام البديل عن طريق تركيب الوسادة في اتجاه أفقي، حيث يحد هذا النظام بكفاءة من مشكلة الأتربة، الشكل رقم (٣ , ٦). ويتم توزيع النُجارة في هذا النظام على شبكة سلكية مثبتة أفقيًا. وبدلاً من تنقيط الماء من الحافة العلوية للوسادة، فإنه يتم ترذيذ الماء على كل مساحة الوسادة، حيث الحصول على الإبلال الكامل. وتؤدي عملية الترذيذ أيضًا إلى عملية غسيل مستمرة للوسادة. ويتم دفع الهواء في هذه الحالة إلى أعلى أو إلى أسفل من خلال الوسادة، ثم بعد ذلك أفقيًا أو بزاوية محددة إلى المنطقة المراد تبريدها. ولقد برهن هذا النظام، ليس فقط بالمحافظة على وسادة نظيفة، ولكن برهن أيضًا على الحصول على كفاءة تبريد مرتفعة في الصيف، حتى ولو كان الوسط ذا تركيز أتربة مرتفع. فيتم تجميع جسيمات الأتربة على سطح الوسادة، ثم تتم عملية الغسيل باستخدام دوران الماء إلى الخزان الذي يجب أن يكون ذا حجم كبير نسبيًا ليسع تراكم الرواسب في القاع. ويجب أن تتم عملية إزالة الرواسب دوريًا، ولكن يكتفى بعملية التنظيف مرة كل فصل عند استخدام خزان ذي سعة كبيرةً نسبيًا.

و في الغالب تتضمن أشكال الوسادات الأفقية لتبريد الوسط داخل المباني تركيب عدة مستويات من الوسادات. ويعتبر استخدام ثلاثة إلى خمسة مستويات



شكل (٦,٢). نظام وسادة رأسية يُستخدم مع العديد من بيوت الدواجن والبيوت المحمية.

أفقية من الوسادات كافيًا للحصول على مساحة الوسادة المطلوبة. ويمكن أيضًا تشييد هياكل الوسادات بدرجة ميل بسيطة لسهولة الحركة بدون الإقلال من مميزات الوضع الأفقي.



شكل (٦,٣). نظام وسادة أفقية يستخدم مع حظائر الماشية

سماكة وكثافة الوسادة

(PAD THICKNESS AND DENSITY)

تزداد المقاومة لسريان الهواء مباشرةً بزيادة سماكة الوسادة، بينما يزداد وقت تلامس الهواء المار عبر الوسادة. ولكن يؤدي مرور الهواء من خلال سماكة إضافية للوسادة إلى تناقص فرق ضغط بخار الماء. وينتج عن ذلك انخفاض في معدل البخر بالنسبة لطبقة محددة باستمرار مرور الهواء خلال الوسادة. وتعتبر العلاقة الأكيدة بينهما علاقة غير معلومةً جيداً.

وتؤدي زيادة كثافة الوسادة إلى تحسن المسامية الكلية، مما يؤدي إلى توزيع أكثر انتظامًا للماء. وتتطلب زيادة الكثافة أيضًا معدلات مرتفعة من سريان الماء، كما تعمل على زيادة المقاومة لسريان الهواء. وتكون الوسادة الكثيفة بالنسبة للتركيب في اتجاه رأسي إلى حد ما أكثر ارتكازًا – بمفردها عن الوسادات الليّنة. وعمومًا تحتاج الوسادات مهما كانت كثافتها إلى بعض المرتكزات، وذلك لمنع الارتخاء. ويؤدي أي ارتخاء في أي جزء من أجزاء الوسادة إلى حدوث فتحات في اتجاه سريان الهواء لابد من تداركه؛ نظرًا لتأثيره الواضح على كفاءة التبريد.

وقد لخص (Watt)[6] متطلبات السماكة والكثافة بالنسبة للوسادات الرأسية بأن كثافةالوسادة المثلى ٣٢ كجم من النُجارة لكل متر مكعب، مع زيادة الكثافة على السطح لتحسين التوزيع الأفقي عند هذا المستوى. ويجب أن تكون محتويات النُجارة متراصة أفقيًا. ويمكن تحديد السماكة عند معرفة كثافة الوسادة المستخدمة وذلك للحصول على كفاءة التشبّع المرغوبة، أو أقصى تبريد بالنسبة لوحدة الطاقة المستهلكة.

ويؤثراستخدام سماكة وكثافة غير–محددة بالنسبة للتركيب الأفقي على الاستقرار الطبيعي لمادة الوسادة على حوامل الارتكاز. ولقد أوصى (Wiersma and Benham[7]) باستخدام حوالي ٤ كجم من النُجارة على أن تُوزّع بانتظام فوق كل متر مربع من مساحة الوسادة.

سرعة الهواء

(AIR VELOCITY)

تتغير سرعة الهواء خلال الوسادات عند نقط مختلفة من الوسادة، كما تعتبر صعبة القياس. وتعتبرسرعة دخول أو خروج الهواء من الوسادة، والتي يُطلق عليها بسرعة وجه الوسادة أسهل كثيراً من حيث القياس، كما أنها شائعة الاستخدام لتحديد السرعة عند الوسادة. وتعتبر تلك السرعة متغيراً تصميميًا أساسيًا يُستخدم في حساب المساحة السطحية للوسادة. ويبين الجدول رقم (٦,١) بعض قيم

جدول (١,٦). سرعات هواء يوصى باستخدامها خلال مواد وسادات متغيّرة

النوع	سرعة الهواء خلال الوسادة م/ث	قدم/ث
ألياف حور رجراج معلقة رأسيًا سماكة ٥٠-١٠٠ م	٠,٧٥	٢,٥
ألياف حور رجراج معلقة أفقيًا سماكة ٥٠-١٠٠ م	١,٠	٣,٣
سيلولوز معرّج سماكة ١٠٠ م	١,٢٥	٤,٢
سيلولوز معرّج سماكة ١٥٠ م	١,٧٥	٥,٨

سرعات الهواء الموصى باستخدامها بالنسبة للمواد النموذجية والمستخدمة في عمل الوسادات[٨].

وتؤثر سرعة الهواء عند وجه الوسادة على نوع سريان الهواء وزمن التلامس مع مصدر الرطوبة. فيكون السريان رقائقيًا عند السرعات المنخفضة، كما يكون لدى الهواء المار خلال الطبقة السطحية من ألياف الوسادة المشبعة بالماء الفرصة لحمل بخار الماء. ويصبح السريان عند ازدياد السرعة مضطربًا ومكسرًا للشرائح الطبقية، مما يؤدي إلى زيادة فرصة حمل البخار. ويزداد معدل حمل البخار بسرعة مع زيادة السرعة، خاصةً عندما يصبح سريان الهواء مضطربًا. ولقد وصف (Petersen)[9] معدل البخر عند سرعات منخفضة مضطربة كدالة في السرعة مرفوعةً إلى الأس ثلثين. وينتج عن مضاعفة سرعة الهواء زيادة في كمية بخار الماء الكلية ٦٠٪.

ولقد أوصى (Thornburg)[10] باستخدام ١,٢٥ (م/ث) كسرعة وجه عملية وذات كفاءة بالنسبة للمبردات المنزلية التي تستخدم وسائد من حور الرجراج. ولقد وجد (Wiersma and Benham)[7] أن أقصى كفاءة تبريد تكون عند سرعة ١,٢٥ (م/ث) بالنسبة للوسائد الرأسية وتقريبًا ١,٥ (م/ث) بالنسبة للوسائد الأفقية. ولكن نظرًا لزيادة الانخفاض في الضغوط عند السرعات المرتفعة، فإنه يوصى باستخدام سرعة عند وجه الوسادة ١,٢٥ (م/ث). وتؤدي سرعات أكبر من ١,٥

(م/ث) إلى سحب قطرات ماء حرة دون تبخير إلى المجرى الهوائي.

وقد أوضحت مطبوعات المصانع أن الوسائد ذات الأخاديد الورقية لها كفاءات أعلى من ٨٠٪ بالنسبة لسرعات عند وجه الوسادة حتى ٨, (م/ث) وعمق وسادة ١٥سم. وقد تصل الكفاءة إلى أعلى من ٩٠٪ عند سرعة وجه ١,٨ (م/ث) وعمق وسادة ٣٠سم. وقد سجلت المطبوعات انخفاضًا في الضغط ٠٠٥, و ٠٢, كيلو باسكال على الترتيب.

ويوصى مصنع الوسائد المصنوعة من تفل قصب السكر والمغطاة بطبقة من الأسمنت باستخدام سرعة عند وجه الوسادة ٧٥, (م/ث). وقد سجل الانخفاض في الضغط عبر وسادة ذات سماكة ٥, ٢سم بأقل من ٠١٢٥, كيلو باسكال.

سريان الماء في الوسائد

(WATER FLOW IN PADS)

تبقى كفاءة التشبّع نسبيًا ثابتة بالنسبة لأي مبرد ذي سعة محددة مع تغيّر خصائص الهواء المراد تبريده. ويوجد استثناء واحد يحدث عندما يكون الهواء جافًا شديد الحرارة، بحيث تُزال الرطوبة بمعدل أسرع من دوران الماء لإبلال الألياف. وبناءً على ذلك، فإنه يجب أخذ الظروف القاسية في الاعتبار عند اختيار معدل دوران الماء. ويبين الجدول رقم (٢, ٦) بعض القيم الخاصة بمعدلات السريان والموصى باستخدامها بالنسبة لأنواع الوسادات المختلفة[٨]. وعامةً يمكن استخدام هذه القيم في كل من الأجواء الجافة والرطبة حيث الظروف القصوى مماثلةً في كلتا الحالتين.

ويمكن الحصول على معدل السريان الأمثل تحت أي ظروف، ولكن تعتبر معدلات السريان الزائدة أقل ضرراً من استخدام معدل سريان ماء غير كاف. وقد تنخفض كفاءة التبريد لحظيًا في حالة عدم تشبّع الألياف بالماء؛ نظرًا لقلة الرطوبة المتاحة بالنسبة للهواء المار. وتترسب أيضًا المعادن الموجودة في الماء على الألياف بدلاً من انجرافها مع الماء في حالة تبخر كل المياه التي تصل إلى الألياف، الأمر الذي يؤدي إلى خفض الكفاءة.

جدول (٦,٢). معدل سريان الماء وسعة الخزان الموصى باستخدامهما بالنسبة لوسائد تبريد معلقة.

نوع الوسادة والسماكة	أقل معدل سريان للماء لكل متر طولي من الوسادة (لتر/ دقيقة . م)	أقل سعة للحوض المائي لوحدة المساحات من الوسادة (لتر/ م^{٢})
ألياف حور رجراج معلقة رأسيًا سماكة ٥٠-١٠٠ م	٤	٢٠
ألياف حور رجراج معلقة أفقيًا سماكة ٥٠-١٠٠ م	٥	٢٠
سيلولوز معرج سماكة ١٠٠ م	٦	٣٠
سيلولوز معرج سماكة ١٥٠ م	١٠	٤٠

ويؤدي استخدام ماء زائد عن الحد إلى الإقلال من المساحة السطحية، حيث يتحول سطح الألياف الخشن والمبلّل إلى طبقة ملساء مغطاة بالماء. ويؤدي قرب ألياف الوسادة من بعضها إلى عبور الماء بينها عازلة السطح عن التلامس مع الهواء. ويوجد عند استخدام معدل سريان مرتفع للماء ميزة الغسيل المستمر للوسادة وخاصةً في الوضع الأفقي، مما يقلل الانسداد بالأتربة وتراكم الأملاح.

ولقد أجرى (Watt)[6] العديد من الاختبارات عن معدلات سريان الماء على وسادات حور رجراج ذات سماكات مختلفة. وقد وجد عند استخدام وسادات ذات سماكة ٥ سم وتحت ظروف طبيعية أن أفضل كفاءة تبريد كانت عند استخدام نسبة من سريان هواء - ماء ٤٠ كجم هواء لكل واحد كجم ماء. ولاتعكس هذه العلاقة التغيّرات في سعة الماء الممتص في الهواء. ويكون المعيار الأكثر شمولاً هو ربط معدل ضخ الماء مع معدل البخر، مما يسمح بالحساب لكل منطقة على حدة. وقد وجد في اختبارات (Watt) عند نسب مثلى من هواء - ماء، أن متوسط الماء المضخ ٧,٥ لتر لكل لتر تم تبخيره. ونجد بناءً على ذلك، أنه يمكن

حساب معدل البخر بالنسبة لمبرد ذي معدل سريان هواء وكفاءة محددين بالنسبة لأي منطقة. وتكون المضخة المطلوبة لدفع ماء عند معدل ٥ ,٧ مرة معدل البخر.

وقد أوصى (Welchert)[11] باستخدام ٦ لتر/ دقيقة لكل متر طولي من الوسادة عند تصميم مبردات ذات وسادات مصنوعة من حور الرجراج بالنسبة للبيوت المحمية وبيوت الدواجن. وتعتبر هذه التوصية عامة لتتمشى مع ارتفاعات الوسادات السائدة والتي تتراوح من ١ إلى ٢ (م)، وتتوافق أيضًا مع توصيات (Watt).

وقد أجرى (Wiersma and Benham)[7] عدة تجارب على معدلات سريان الماء بالنسبة لوسادة من حور الرجراج في الوضعين الأفقي والرأسي. وقد لخصا تجاربهما على أنه يمكن الحصول على كفاءة مناسبة مع توزيع جيد للماء عند معدلات سريان أقل من تلك التي أوصى بها (Watt). وقد أوصى باستخدام معدل للماء ٥ ,٧ مرة معدل البخر أو حوالي ٤ ,٢ (لتر/ دقيقة - لكل م^{٢} من سطح الوسادة) مع الأخذ في الاعتبار لكل من الناحية الاقتصادية وتوزيع الماء وعملية الغسيل والصيانة وكفاءة التبريد.

ويمكن أيضًا بالنسبة للوسادات المصنعة من مادة السيلولوز ذات الأخاديد استخدام معدل للماء المرتجع ٦٠ (لتر/ دقيقة - لكل م^{٢} من المساحة الأفقية) مع إضافة ١٠ إلى ٢٠٪ بالنسبة للوسادات الأطول من ٢ م[١٢]. وقد أوصت مصانع وسائد تفل قصب السكر والمغطاة بطبقة أسمنتية باستخدام ٢ ,٧ (لتر/ دقيقة) لكل متر مربع من مساحة سطح الوسادة.

المعدلات المرتجعة وسعة الحوض المائي

(BLEED-OFF RATES AND SUMP CAPACITY)

تتطلب المحافظة على سطح الوسادة مبللاً باستمرار مع الاقتصاد في استخدام الماء وجود حوض مائي وصمام ارتجاع. ويتوقف حجم الحوض المائي إلى حد ما على نوع المضخة ونوع الوسادة ومعدل الارتجاع. ويوجد في الجدول رقم (٢ ,٦) بعض التوصيات الخاصة بذلك. ويُعرّف معدل دوران الماء المطلوب على أنه المعدل

الذي يفي بحاجة الوسائد. ويجب أن تدفع المضخة كميةً كافيةً من الماء لحدوث الارتجاع المستمر للماء والضروري لمنع تراكم المعادن على ألياف الوسادة. ويعتمد معدل الماء المرتجع على مقدار مايحتويه من تركيزات للمعادن. وإذا وجد فقد للماء بمعدل يساوي معدل الماء المتبخر، فإن المعادن المترسبة قد يحدث لها اتزان عند مستوى يعادل ضعف مستوى الماء المستخدم. ويؤدي تقليل معدل الماء المرتجع إلى النصف إلى ترك تركيز مقبول للملح في دوران الماء. ويعتبر استخدام معدل ارتجاع ٨ (لتر/ ساعة) لكل (م٣/ ث) من سريان الهواء معدلاً لاقى قبولاً كبيراً في التجارة. وعادةً ما ينتج عن ذلك تركيز للمعادن في الماء داخل الحوض المائي يساوي ثلاث مرات التركيز الموجود في الماء الخارجي.

ويمكن بالنسبة لمحتوى معلوم من المعادن حساب معدل الارتجاع لأي تركيز مسموح بمعلومية كل من المحتوى المائي من المعادن ومعدل البخر وسعة الحوض المائي. وتعتبر مهمة حساب معدل الماء المرتجع المطلوب أكثر سهولةً من توفير أو المحافظة على هذا المعدل. وفي الغالب ما يكون معدل سريان الماء المفقود قليلاً. وعادةً يمكن إتمامه في خط دورة الماء باستخدام وصلة ماسورة على شكل الحرف (T). ويمكن أن يؤدي عمل اختناق على هذا الفرع الخطي إلى التحكم في معدل السريان المرغوب. وغالبًا مايكون معدل السريان في هذا الخط ثابتًا نسبيًا طالما أن الاختناق نظيف ومفتوح. وقد يؤدي تراكم الأتربة والمخلفات إلى الإيقاف الكامل للسريان إلا إذا كانت هناك صيانة دورية لهذه الخطوط.

ويُفضل بعض المهتمين بهذا المجال استخدام نظام الضخ الخارجي بدلاً من نظام الارتجاع، وذلك للمحافظة على الماء نظيفًا نسبيًا. ويتم استبدال المصدر المائي المتجمع داخل الحوض على فترات دورية، وذلك للمحافظة على الماء نظيفًا.

التبريد التبخيري للدجاج اللاحم

(EVAPORATIVE COOLING FOR POULTRY)

يستخدم التبريد التبخيري في معظم بيوت الدجاج اللاحم التي يتم التحكم في بيئتها الداخلية في جنوب غرب الولايات المتحدة. ويوجد أيضاً العديد من المباني في المناطق الأكثر رطوبة في الولايات المتحدة الأمريكية والتي يتم أيضًا تبريدها تبخيريًا. وقد ثبت عند استخدام هذه الأنواع من البيوت زيادة في الإنتاج وتحسن في كفاءة التغذية وانخفاض معدل نفوق الطيور. وبالرغم من وجود العديد من الاختلافات في تصميم نظم التبريد التبخيري، إلا أنه يمكن تلخيص معظم الأنظمة بأي من الأنواع التالية:

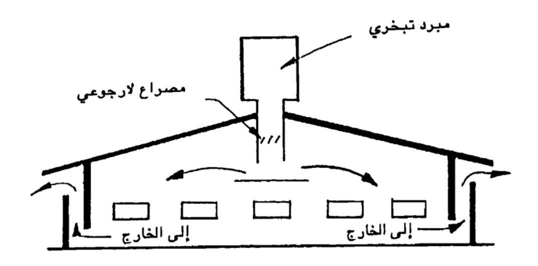
١- مبرد منزلي عادي
٢- برج وتهيّل
٣- وسادة ومروحة

مبرد منزلي عادي (Conventional Home Cooler)

يتم تركيب المبرد المنزلي عند تطبيقه في بيوت الدواجن على الحافة الحدية للسطح، الشكل رقم (٤ ,٦). ويتم إدخال هواء التبريد إلى المبنى تحت ضغط موجب. ويتم حساب حجم فتحات مخارج الهواء على جانبي المبنى للسماح بسرعة خروج ٣ (م/ث) عند أقصى سريان للهواء. وفي الغالب يتم تركيب موزّع للهواء داخل مواسير المبرد وذلك لتحسين توزيع الهواء. وتوجد أيضًا مصاريع تستخدم لمنع تسرب الهواء في اتجاه معاكس في الفترات التي يستخدم فيها معدل تهوية منخفض عند تشغيل المبرد جزئيًا. ويتم توفير معدلات تهوية متغيرة باستخدام محركات كهربائية ذات سرعتين وجهاز تحكم في درجة الحرارة أو باستخدام تجميعات من مفاتيح الساعات الميقاتية..

وتعد متطلبات الصيانة المرتفعة للمبردات من أكبر عيوب هذا النظام. ويجب يوميًا مراجعة نظام توزيع المياه للتأكد من الإبلال الكامل للوسادة. ويجب أيضًا أن

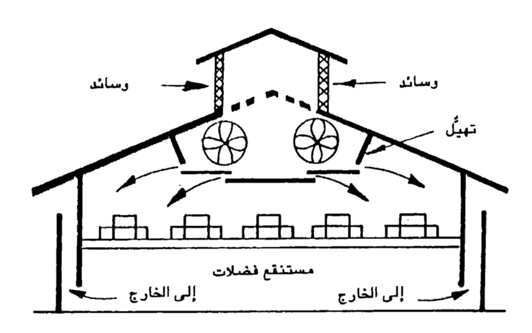
تتم عملية غسيل دورية للوسادات للتخلص من الأتربة المتراكمة. وتحتاج سيور المراوح أيضًا إلى عملية كشف دورية. ومع أن هذه المهام المطلوبة للصيانة مشتركة لمعظم النظم، إلا أن وجود هذه الوحدات المختلفة مع بعضها البعض على سطح مبنى ساخن يوضح مدى المجهود الواجب تنفيذه في عملية الصيانة الدورية.



شكل (٦,٤). بيت دواجن مع مبرد تبخيري مُركّب على السطح

برج وتهيّل (Tower and Plenum)

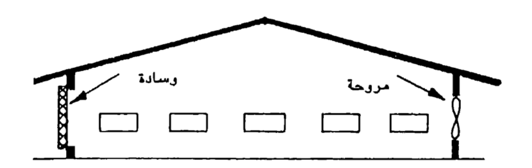
برج التبريد ببساطة عبارة عن نموذج تصميمي كبير للمبرد المنزلي العادي، الشكل رقم (٦,٥). ولابد من توافر وسيلة لتوزيع الهواء خلال التهيّل أو المواسي؛ نظراً لتولد حجم سرياني كبير للهواء في الموضع المركزي. ويتم التحكم في الهواء الخارج عن طريق نظام تجويفي مستمر بطول الحائط أو من خلال هوّايات لهواء العادم. وتعتبر نظم تركيب الأنابيب مكلفةً وتتطلب العناية عند التصميم للتأكد من الحصول على توزيع جيد للهواء.



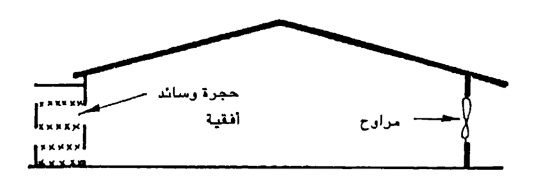
شكل (٦,٥). نظام برج سابق التجهيز وتهيّل

وسادة ومروحة (Pad and Fan)

يتم تركيب المراوح في هذا النظام على أحد الحوائط الجانبية أو النهائية لسحب الهواء خلال وسادة أو مجموعة وسائد مركبة على الحائط المقابل. ويمكن استخدام الوسائد إما في وضع رأسي أو أفقي، الشكلان رقما (٦,٦) و (٦,٧). ويجب تركيب الوسائد على الحائط المقابل لاتجاه الرياح السائدة. ويجب أن تشغل الوسائد الحائط بأكمله من الركن إلى الركن، وذلك لتجنب وجود مناطق حارة داخل البيت. ويمكن مد الوسائد حول الأركان في حالة ما إذا كانت مساحة الحائط المفرد صغيرة بالنسبة للمساحة الكلية المطلوبة من الوسادة. ويمكن بمعلومية الطول المحدد للحائط تركيب كمية كبيرة من الوسائد باستخدام مجموعة من الوسائد الأفقية بدلاً من الوسادة الرأسية. ويجب أن يكون المبنى مُحكم الغلق حتى يتم إجبار كل الهواء الداخل على المرور من خلال الوسائد. ويعتبر هذا النظام اقتصاديًا من حيث البناء والتشغيل وإتاحة توزيع جيد للهواء بالإضافة إلى التصميم الدقيق. وتعتبر سرعات



شكل (٦,٦). نظام وسادة ومروحة مع تركيب الوسائد رأسيًا



شكل (٦,٧). نظام وسادة ومروحة مع مجموعة من الوسائد الأفقية

الهواء نسبيًا منخفضة، كما يميل الهواء البارد إلى الهبوط نحو أرضية المبنى، ويعد ذلك ملائمًا وخاصةً بالنسبة للطيور. وتعتبر القدرة المطلوبة لهذا النظام أقل بكثير من القدرة المطلوبة لنظام برج وتهيّل.

ويجب أن يتمشى سريان الهواء المطلوب بالنسبة للنظم المختلفة مع حمل التدفئة المتضمن. فيكون سريان الهواء المطلوب حوالي واحد تغيّر حجمي كلي في الدقيقة عند استخدام أسطح للمبنى معزولةً جيدًا ومعدل تحميل تجاري من الطيور.

ويتضمن استخدام بيوت للدواجن محكمة الغلق وبدون شبابيك وذات تهوية ميكانيكية مخاطرة مالية في حالة انقطاع الطاقة الكهربائية. وعلى ذلك فمن الضروري وجود نظام إنذار لتوضيح حالات انقطاع التيار، وكذلك وجود نظام احتياطي للطاقة الكهربائية يمكن الاعتماد عليه في التشغيل في تلك الحالات .

التبريد التبخيري للبيوت المحمية

(EVAPORATIVE COOLING FOR GREENHOUSES)

تأخذ معظم نظم التبريد التبخيري للبيوت المحمية شكلاً من نظم المراوح والوسائد المستخدمة في بيوت الدواجن. وتستخدم نظم التبريد التبخيري في البيوت المحمية لتبريد وتشبّع الهواء الداخل. وتتحمل النباتات - بعكس الحيوانات- الرطوبة المرتفعة والمتولدة من عملية التبريد بالتبخير؛ نظراً لانخفاض ضغط الماء التبخيري عند سطح الأوراق. وتعتبر رطوبة نسبية من ٧٠ إلى ٨٠٪ مفضلة مع درجات حرارة تتراوح ما بين ٢١ و ٢٧ °م، وذلك اعتماداً على مستويات الطاقة الشمسية والمستغلة في عملية البناء الضوئي ونوع المحصول.

ويتضمن تصميم حمل التبريد التبخيري في البيوت المحمية إضافة الطاقة الشمسية المكتسبة لحظيًا بواسطة الهواء المكيّف بعكس المباني المعزولة. وبناءً على ذلك يجب أن تكون الوسادة المبللة ذات كفاءة استخدام مرتفعة بقدر الإمكان لتعويض الارتفاع في درجة الحرارة والانخفاض في الرطوبة النسبية لمخلوط الهواء والبخار. فقد تنخفض مثلاً الرطوبة النسبية لحظيًا من ٩٠٪ إلى ٨٠٪ في يوم مشمس، وذلك بعد حوالي ثلاثة أمتار فقط من مرورها من الوسادة[٢، ٣].

وتعمل أوراق النباتات أيضًا عمل الوسائد التبخيرية (فصل ١١)، حيث يتأثر الانحدار في درجة الحرارة والرطوبة من الوسادة إلى المروحة تأثراً كبيراً بمعدل نتح الرطوبة من الأوراق. وقد وجد (Montero)[2] أن أوراق النباتات تبرد تبخيريا إلى قرب درجة حرارة الهواء أو المبرد عند رطوبة نسبية ٨٠ ٪ أو أقل، بينما تكون ورقة النبات المعرضة للإشعاع المباشر في يوم مشمس مضيء عند رطوبة نسبية أعلى من ٨٠ ٪ وعند درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الوسط بمقدار ٣ °م أو أكثر. وهكذا،

يجب أن يكون مستوى الرطوبة النسبية في حدود من ٧٠ إلى ٨٠ ٪ للحصول على أفضل جودة ونمو للنبات ولتقليل الإجهادات الناشئة من كل من الحرارة والرطوبة على أوراق نباتات البيوت المحمية (الذبول).

وعامة يوصى باستخدام معدل تهوية داخل البيوت المحمية في حدود من ٣/ ٤ إلى ١ تغيّر هوائي في الدقيقة. ويتناسب ارتفاع درجة حرارة الهواء منذ لحظة الدخول إلى الخروج تناسبًا عكسيًا مع معدل سريان الهواء. فيؤدي استخدام معدل سريان للهواء - في يوم مشمس - ٣/ ٤ تغيّر هوائي إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء ٦ °م، بينما يتولّد عن استخدام واحد تغيّر هوائي ارتفاع في درجة الحرارة حوالي ٥°م.

وفي بعض الأحيان يُزاد أقصى معدل تهوية تصميمي بالنسبة لمستويات إضاءه أعلى من ٥٤ كيلو لاكس (klx) . وتعتبر المعلومات المتاحة لهذا التعديل قليلة؛ نظراً لأن البيوت المحمية في هذه المناطق في الغالب ما تكون بيضاء اللون لتقليل الحمل الحراري الشمسي داخل البيت المحمي. ويُفضل استخدام مسافة بين الوسادة والمروحة من ٣٠ إلى ٥٠ م. أما بالنسبة للبيوت المحمية الطويلة، فيتم تركيب المراوح في منتصف السقف والوسائد على نهايتي المبنى. ويساعد هذا التصميم على تقليل سرعات الهواء عبر النباتات. وقد تتكون في بعض الأحيان بقع هوائية ساكنة حارة أسفل المراوح. وفي الغالب ما يتم زيادة سرعة الهواء (V) (م/ دقيقة) بالنسبة لفتحة هواء تبعد مسافة (D) ٣٠م أو أقل من المروحة، وذلك لزيادة التبريد التبخيري للنباتات. ويمكن حساب السرعة المرغوبة من المعادلة التالية[٨]:

$$V = 5.5/D^{0.5} \qquad (٦,٢)$$

ويتم حساب المساحة السطحية المطلوبة للوسادة بعد اختيار معدل التهوية. ويتم تعديل المساحة لتلبية سرعات الهواء الموصى باستخدامها بالنسبة لنوع معلوم من مادة الوسادة، وذلك كما هو موضح في الجدول رقم (١ ,٦).

ويُفضل لأغراض الحماية تركيب أجزاء الوسادة في فتحات مداخل الهواء. ولاتحتاج فتحة التهوية لأن تكون مستمرة بقدر ماتكون منتظمة التوزيع. ويجب في حالة إتمام عملية تجميع الوسادة خارج فتحة المدخل أن تكون الفتحة مستمرة مع عدم وجود أي عوائق، وأن تكون أيضًا في موضع متمركز بالنسبة للوسادة. ويجب أن

تكون أقصى سرعة تصميمية للهواء خلال فتحة التهوية في حدود ٨, ١ (م/ ث). ويجب- عندما يزداد ارتفاع الوسادة عن ارتفاع فتحة التهوية- زحزحة الوسادة إلى الخلف مسافة تعادل على الأقل نصف فرق الارتفاع بين الوسادة وفتحة التهوية.

ويتم في بعض البيوت المحمية ذات السعات الداخلية الكبيرة مع وجود أسقف جمالونية وضع حواجز رأسية فوق النباتات وفي اتجاهات متعامدة على سريان الهواء، وذلك لتجنب تبريد كل هواء العليَّة. ولكن يعتبر هذا التجهيز غير ضروري في معظم التطبيقات؛ نظرًا لأن الهواء البارد يكون أعلى كثافة من هواء العليّة ويميل إلى البقاء في منطقة النباتات. وقد تستخدم الحواجز في بعض الأحيان للحصول على تبريد أفضل خاصةً في المناطق أسفل المناضد.

ويتم بعد اختيار سعة كل من المراوح والوسائد تحديد حجم المراوح المطلوبة والمسافات فيما بينها، وذلك للحصول على توزيع منتظم لسريانات الهواء عبر البيت المحمي. فيجب أن لاتزيد سرعة الهواء عبر أي نبات على ١ (م/ ث)[٨]. ويجب أن لاتزيد المسافات بين كل مروحتين متتاليتين على ٥, ٧ م، وأن يتم تركيب المراوح على الجانب المقابل للرياح. ويجب أن تغطى المراوح بستائر محكمة الغلق لمنع حدوث تلفيات للنباتات من جراء هواء الشتاء البارد.

ونظرًا لأن العديد من البيوت المحمية التجارية والكبيرة السعة تُبنى جنبًا إلى جنب، فإنه من الضروري عند تركيب المراوح مراعاة تجنب وجود هواء العادم من أحد البيوت المحمية مجاورًا لوسادة بيت آخر. و بناءً على ذلك يجب أن تكون المراوح على مسافة لاتقل عن ١٥م من فتحة دخول هواء أخرى ذات وسادة تبريد. ويجب في حالة مواجهة المراوح لبعضها أن تتعاون المراوح الخاصة بنظام تبريدي مع المراوح المواجهة لها، إلا إذا كانت المراوح المقابلة تبعد مسافة على الأقل ٤ مرات القطر. وتوجد معلومات أخرى إضافية مدونة في فصل ١٢ عن نظم التبريد التبخيري للبيوت المحمية، "نظم تهوية البيوت المحمية".

التبريد التبخيري للماشية الحلابة

(EVAPORATIVE COOLING FOR DAIRY CATTLE)

يمكن أيضًا استخدام التبريد التبخيري كوسيلة اقتصادية للحصول على جو ملائم في حظائر الماشية الحلابة. فتعاني الماشية الحلابة في الصيف الحار من إجهاد حراري كبير. ولايؤدي هذا الإجهاد الحراري إلى الإقلال من إنتاج اللبن فقط، بل يؤدي أيضًا إلى مشاكل حادة في عمليات الولادة.

ولاتتوافق نظم تربية الماشية مع بعض الحيوانات الأخرى من حيث تعرض الحيوانات المستمر لنظم الترطيب بالرش، ولكن تعتمد تهيئة الجو على تبريد الهواء. فنجد بالنسبة للمناطق الجغرافية الشديدة الحرارة أن معظم حظائر الماشية التجارية مفتوحة، وأن عملية التبريد التبخيري لتحسين حالة الجو تكون صعبةً إلى حد ما.

ونجد في ولاية أريزونا - حيث يلقى نظام التبريد التبخيري قبولاً كبيراً - أن عملية التربية تتم في زرايب مفتوحة مع توفير مظلات للحماية فقط من أشعة الشمس. ويتم تبريد بيئة الماشية باستخدام نظام تبريد مصمم خصيصًا ومتصل بجانب المظلة، بحيث يدفع الهواء مباشرةً جهة الماشية. وفي الغالب مايتم بناء حائط على أحد جانبي المظلة، وذلك لمنع التداخل بين الهواء المدفوع وتيار الهواء الطبيعي الخارجي. ونظراً لأن هذا النظام يعتبر نصف مفتوح، فإن معدل سريان الهواء المطلوب يكون أكثر مما لوكانت الحيوانات داخل حظائر مغلقة. ويوصى حاليًا باستخدام على الأقل ٥ ,(م٣/ ث) من الهواء لكل بقرة[٥]. ونظراً لأن كل بقرة تشغل من ٤ إلى ٥ م٢ من مساحة المظلة، فإن سريان الهواء المطلوب يعادل من ٢ إلى ٢,٥ تغيّر هوائي في الدقيقة. وتنتج كل بقرة تحت الظروف البيئية المحسنة حوالي ٥٠ كجم لبنًا زيادة في السنة عن البقر الموجود تحت مظلة فقط بدون أي عملية ترطيب للوسط المحيط. هذا بالإضافة إلى تحسن كفاءة الولادات ممثلةً في منفعة مالية تقدر بنفس التحسن في إنتاج اللبن. وتعتبر هذه النظم مكلفة، ولكن تعتبر المنافع المنظورة وغير المنظورة كثيرة بالمقارنة بالتكاليف الزائدة عند استخدام نظام تبريد تبخيري.

وقد تم إجراء العديد من الاختبارات على التبريد التبخيري للماشية الحلابة في أجزاء أخرى من الولايات المتحدة مثل ولايات الميسيسبي وأنديانا ولويزيانا و أوكلاهوما وفلوريدا. وتعتبر الرطوبة النسبية المرتفعة من أهم العوامل التي تحد من كفاءة التبريد التبخيري في تلك المناطق. ونتيجةً لذلك، فإن اقتصاديات التبريد التبخيري تعتبر إلى حد ما غير مفضلة. وقد استخدم (Hahn and Osburn)[17] الطرق الاحتمالية مجتمعةً مع بيانات مناخية لمعرفة مدى استجابة الماشية الحلابة للبيئة، وذلك كأساس للتقييم الاقتصادي الخاص بتهيئة البيئة. وقد قدم الباحثان خرائط للولايات المتحدة تحتوي على خطوط متساوية تمثل الفصول المتوقعة للحصول على أفضل تربية للأبقار عند مستويات إنتاج مختلفة. وقد تم أيضًا وضع خطوط متساوية لمكاسب التبريد التبخيري عند ثلاث مستويات إنتاج. وتعتمد تلك الخطوط على استخدام قيم تعتبر حاليًا مهملة، ولكن يسمح هذا النهج بإدخال بيانات محلية حديثة وأكثر ملاءمةً.

التبريد التبخيري لإنتاج أبقار اللحم

(EVAPORATIVE COOLING FOR BEEF PRODUCTION)

تتأثر أبقار اللحم بالإجهاد الحراري فتقل الزيادة اليومية في الوزن مع ارتفاع درجة حرارة الوسط. وقد يُعاد اكتساب مافُقد عند تحسن الجو وخاصةً إذا كانت موجة الحر قد استغرقت فترة من الوقت قصيرةً نسبيًا. وتتضمن الوظيفة الفسيولوجية المرتبطة بزيادة الوزن انخفاضًا في كمية الحرارة المتولدة عن ما إذا كانت تستخدم في إنتاج اللبن أوأثناء الحمل بالنسبة لبقرة حلوب، وعلى ذلك يكون الإجهاد الحراري الكلي على حيوان اللحم أقل. ولاتعتبر زيادة النسل في مزارع الإنتاج الحيواني جزءاً من العملية، ومن ثَم فإن تكلفة تهيئة الوسط المحيط بالحيوان يجب أن تُعوّض بتحسن في الزيادات الوزنية. وقد أوضحت بعض التجارب في ولاية كاليفورنيا أنه يمكن الوصول إلى تحسن في الإنتاج باستخدام التبريد التبخيري، ولكن قد لايتناسب مستوى التحسن في الإنتاج مع التكاليف المرتبطة. ونتيجةً لذلك، لايمكن اعتبار استخدام التبريد التبخيري لإنتاج اللحم عمليًا من الناحية الاقتصادية.

المراجع

1 Watt, John R. 1953. Investigation in evaporative cooling. Report to U.S. Naval Civil Engineering Research and Evaluation Laboratory.

2 Montero, J. I., T. H. Short, R. B. Curry, and W. L. Bauerle. 1981. Influence of evaporative cooling systems on greenhouse environment. ASAE Paper No. 81-4027, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

3 Walker, J. N. and D. J. Cotton. 1968. Cooling of greenhouse with various water evaporation systems. TRANSACTIONS of the ASAE 11(1):116-119.

4. Buffington, D. E., T. C. Skinner, Barbara Collette and Daniel Borer. 1978. Evaporative cooling for hot, humid climates. Paper presented at the Southwest-Southeast Regional Meeting. ASAE, Houston, TX, February 5-8.

5 Wiersma, F., G. H. Stott and Otis Lough. 1972. Consider cooling possibilities: The practical aspects of cooling dairy cattle. Publication P-25, The University of Arizona.

6 Watt, John R. 1963. Evaporative air conditioning. The Industrial Press.

7 Wiersma, F. and D. S. Benham. 1974. Design criteria for evaporative cooling. ASAE paper No. 74-4527, ASAE, St.Joseph, MI 49085.

8 American Society of Agricultural Engineers. 1982. ASAE Engineering Practice for Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses. EP 406, ASAE, St. Joseph.

9 Petersen, R. J. Evaporation from surfaces. ASHRAE Journal Section, Heating, Piping and Air Conditioning. August, 1955.

10 Thornburg, M. L. and P. M. Thornburg. Cooling for Arizona homes. University of Arizona Agricultural Extension Circular No. 105: May, 1939.

11 Welchert, W. T. and Frank Wiersma. Evaporative cooling for laying houses in Arizona. ASAE Paper 72-914.

12 The Munters Corporation. Promotional literature for Humi-Kool evaporative cooling media. Publication 7604.46.

13 Omtvedt, I. T., R. E. Nelson, Ronnie L. Edwards, D. F. Stephens and E. J. Turman. 1971. Influence of heat stress during early, mid and late pregnancy of gilts. J. Animal Sci. 32:312.

14 Teague, H. S., W. L. Roller and A. O. Grifo, Jr. 1968. Influence of high temperature and humidity on the reproductive performance of swine. J. Animal Sci. 27:408.

15 Tomkins, E. C., C. J. Heindenreich and Martin Stob. 1967. Effect of post-breeding thermal stress on embryonic mortality in swine. J. Animal Sci. 26:377.

16 Wettemann, R. P. and R. K. Johnson. 1978. Influence of heat stress on reproductive performance of swine. Proceedings, N.C. Pork Producers Conference, January 12-13, 1978, Raleigh, NC.

17 Hahn, G. L. and D. D. Osburn. 1970. Feasibility of evaporative cooling for dairy cattle based on expected production losses. TRANSACTIONS of the ASAE 13(6):289-291, 294.

18 Hahn, G. L., N. F. Meador, G. B. Thompson and M. D. Shanklin. 1974. Compensatory growth of beef cattle in hot weather and its role in management decisions. Proceedings of the International Livestock Environment Symposium; Lincoln, Nebraska; Apr. 17-19, 1974.

19 Kelly, C. F., T. E. Bond and N. R. Itner. 1955. Water cooling for livestock in hot climates. AGRICULTURAL ENGINEERING 36(3):173-180.

20 Wiersma, F., D. E. Ray and C. B. Roubicek. 1973. Modified environment for beef in hot climates. TRANSACTIONS of the ASAE 16(2):348-349, 353.

الفصل السابع

تأثيرات البيئة الحرارية والغازية على الحيوانات المزرعية والدواجن*

(EFFECTS OF THE THERMAL AND GASEOUS ENVIRONMENT ON LIVESTOCK)

• مقدمة •ثبات درجة حرارة الجسم• الاتزان الحراري • تأثيرات درجة الحرارة • تأثيرات الرطوبة •تأثيرات سرعة الهواء• تأثيرات مُلوّثات الهواء.

مقدمة

(INTRODUCTION)

من المعروف في حالات كثيرة أن الإجهادات المفروضة على الحيوانات سواء كانت بيئية أو غذائية أو باثولوجية أو غيرها يكون لها تأثير كبير على الإنتاج الحيواني. وتقتصر المناقشة في هذا الفصل فقط على متطلبات الحيوانات المرتبطة بالبيئة داخل مبنى التربية. ونظراً لأن هذا الكتاب مرتبط بتهوية المنشآت الزراعية، فإن المناقشة سوف تكون مكرّسة على البيئة الداخلية، ولم يؤخذ في الاعتبار عوامل أخرى مهمة في نظم التربية المغلقة مثل أمن وأمان الحيوان والاحتياجات الاجتماعية[1].

ومع أن منشآت الإنتاج الحيواني تستخدم في الأجواء الباردة، إلا أن السبب الرئيسي في الغالب ليس لتهيئة البيئة. فتصمم المنشأة وتبنى لتسمح بالتعامل مع

---

* سكوت، ن. ر. : جامعة كورنيل - آثاكا
ديشازر، ج. أ. : جامعة نبراسكا - لينكولن
رولر، ل. و. : جامعة ولاية أوهايو - كولومبوس

الحيوانات بكفاءة من حيث التغذية والوقاية الصحية ولتوفير الأمان للحيوانات. ويجب أيضًا عدم إهمال مفهوم الراحة الآدمية في نظام الإنتاج الحيواني، حيث يعتبر عاملاً مهمًا جدًا في تهيئة البيئة. ولكن، وباستثناء الحيوانات الصغيرة -حديثة الولادة - حيث تعتبر بعض التعديلات ضرورية، فإن التحكم في البيئة الحرارية للحيوانات الكبيرة ليس له في العادة ما يُبرره اقتصاديًا.

ويغض النظر عن السبب في اختيار نظام الإيواء المغلق، فنجد بمجرد الاختيار لنوع الحماية أن المفاهيم الخاصة بالبيئة الغازية والحرارية قد أصبحت مهمةً جدًا. وتعتبر عملية التهوية المحرك الأساسي الذي من خلاله يمكن الحصول على الظروف البيئية المناسبة داخل المبنى. ويعتبر الدور الذي يقوم به نظام التهوية معقدًا؛ نظرًا للتأثيرات التفاعلية لكل من الأمراض والتغذية والغازات السامة والأتربة والحيز وعوامل أخرى غير معروفة مثلهما مثل البيئة الحرارية[٢،٣]. ويوجد تأثير واضح لهذه العوامل سواء كانت فردية أو مجتمعة على كل من النمو والإنتاج وزيادة النسل والسلوك، وأخيرًا على العائد لمؤسسة الإنتاج الحيواني.

ويهدف هذا الفصل إلى تطوير المفاهيم التي تشكل الخاصية الأساسية في تصميم نظم التهوية لإتاحة بيئة حرارية وغازية أفضل. وسوف تُشكل أساسيات الفسيولوجيا الحرارية والمفاهيم المجسدة لسريان الطاقة الأساس الذي يجب أخذه في الاعتبار بالنسبة للتأثيرات المحددة للبيئة الحرارية على كل من النمو والإنتاج وزيادة النسل. ويتضمن تعريف البيئة الحرارية كلاً من درجة حرارة الهواء والمحتوى الرطوبي للهواء وحركة أو سرعة الهواء وتبادل الإشعاع الحراري.

ثبات درجة حرارة الجسم

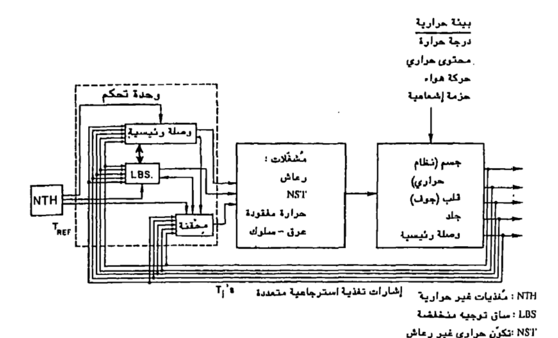
(HOMEOTHERMY)

تعتبر حيوانات المزرعة من الأنواع التي تحافظ على درجة حرارة ثابتة للجسم "Homeothermic" بالرغم من التغيرات الكبيرة في الظروف البيئية المحيطة بها. فيتم التحكم في درجة الحرارة في معظم الحالات سلوكيًا وفسيولوجيًا. ولكن بالنسبة

للإيواء المحكم، فإنه يمكن لنظام الإدارة المستخدم أن يمنع أو يحفز الاستجابات السلوكية للحيوانات. فعلى سبيل المثال، قد تمنع تربية الدواجن في أقفاص فردية تحت ظروف برد قارص من الالتصاق مع بعضها البعض للتدفئة، بينما يمكن تشجيع الخنازير على التأقلم بتوفير مناطق خاصة بالتخلص من الفضلات وأخرى للراحة. ويتم ذلك عن طريق التحكم في كل من درجة الحرارة ومعدل سريان الهواء.

وتعتبر تعقيدات وكفاءة عملية التنظيم الحراري مؤثرة. و قد أصبحت مفاهيم نظم التحكم في التغذية الاسترجاعية (feedback) السالبة والتي كانت شائعة الاستخدام في الهندسة في حكم المنتهية، وذلك لتبسيط تمثيل الاستجابات الفسيولوجية واستجابات التنظيم الحراري. ويوضح الشكل رقم (١ , ٧) رسمًا تخطيطيًا مبسطًا لنظام تغذية استرجاعي بالنسبة للتنظيم الحراري. ويمكن بسهولة عن طريق تتبع الإشارات المرورية حول الرسم فهم هذا النظام. ويكون الفرق بين إشارة مرجعية (T_{ref}) والتحكم الفعلي في التزويدات الحرارية (T_i) الأساس في عملية التنظيم. وتُسبب التغيّرات في البيئة الحرارية حالة من عدم الاتزان بين معدل الحرارة المتولدة والحرارة المفقودة، التي تؤدي بدورها إلى تغيّر درجة حرارة الجسم. ويتم حس هذا التغيّر بواسطة مستقبلات حرارية من خلال نقاط كثيرة في الجسم تعمل على تغذية المقارن، بحيث يتولد عن الفرق بين (T_{ref} - T_i) إشارة "خطأ" تعمل على إدارة المشغّل الميكانيكي الخاص بعملية التنظيم الحراري. ويؤدي هذا النشاط من أجهزة التحكم إلى ضبط الحرارة المتولدة – معدل الأيض الحراري– أو ميكانيكية الحرارة المفقودة –حرارة مفقودة مع التنفس أو العرق أو حركة الأوعية الدموية أو انتصاب الشعيرات والاستجابات السلوكية– أو كل منهما، وذلك لتقليل الفرق بين الدرجة المضبوطة والتزويدات الحرارية المتحكم فيها.

وجدير بالذكر أنه يصعب في هذا العرض الموجز عمل تغطية كافية للنظريات العديدة وتعقيدات التنظيم الحراري. ويمثل الشكل رقم (١ , ٧) خصائص عامة لنظم التحكم الحراري على أساس الأبحاث التي تجرى في الوقت الحاضر. وتحتوي الأبحاث السابقة على مراجعة ممتازة لنماذج من التنظيمات الحرارية بالنسبة للحيوانات الثديية والطيور[٤-٢٥].



شكل (١,٧). رسم تخطيطي يوضح نظام تنظيم درجة الحرارة مع أجهزة حس وتحكم وتشغيل متعددة.

ويوجد بناءً على تجارب عديدة أجريت على الحيوانات الثديية والطيور العديد من الحقائق المهمة التي تقترح تعدد مصادر التزويد ودوائر التغذية الاسترجاعية وآليات التشغيل[٢٠] . وقد أوضحت الأبحاث حدوث الاستقبالات الحرارية خارج الهايبوتلاموس (hypothalamus) أو ما تحت السرير البصري، والتي كانت تعتبر في وقت ما الجهة المركزية الوحيدة للاستقبالات الحرارية. وقد أوضحت الدراسات أيضًا أن التزويدات الحرارية الداخلة إلى نظام التحكم الحراري نابعة في الأصل من الأحبال الشوكية والدماغ الأوسط والبطن والنخاع المستطيل والجلد بالإضافة إلى

الهيبوتلاموس. وهكذا، فيوضح الشكل رقم (١ , ٧) أن تزويدات الحس الحراري تتكون من العديد من إشارات التغذية الاسترجاعية خلال الجسم.

وقد تم بناء الشكل رقم (١ , ٧) لتوضيح تعدد أدوات التحكم على أساس وجود تعددية خاصة بالتنظيم الحراري. وقد أوضح البرهان أن أدوات التحكم المتعددة قد تؤدي وظائفها بنوع من الاستقلال بالرغم من أنه يُفترض أن تتعاون تلك الأدوات مع بعضها البعض[٢٠]. ويوضح الشكل رقم (١ , ٧) كلاً من الوظائف المستقلة والتعاونية والخاصة بأدوات تحكم متعددة. ونظرًا لأنه يمكن الحصول على دقة في تنظيم درجة الحرارة عندما يكون الهايبوتلاموس سليمًا، إلا أنه يجب الأخذ في الاعتبار أن الهايبوتلاموس يقوم بدور المراقب[٢٠]. ويمكن توضيح هذا الدور بواسطة الإشارات المزدوجة التي تصل الوصلة الرئيسية وساق التحكم المنخفضة مع الهايبوتلاموس، بينما توضح أيضًا الفعل المستقل والمتوازي.

وقد بررت النتائج التي أجريت على العديد من الحيوانات الثديية والطيور الفرض القائل إنه يمكن قيادة كل واحد من المُشغّلات الميكانيكية بواسطة كل أداة من أدوات التحكم[٢٠]. ويوجد برهان كاف في الأعمال السابقة يوضح التأثير النوعي لكل مُشغّل ميكانيكي بواسطة كل أداة تحكم، بينما لاتوضح النتائج الكَمّية دائمًا تساوي التأثيرات في استجابات التنظيم الحراري. ومن المؤكد أن كل حيوان مزرعي لايستخدم كل واحد من المشغّلات الميكانيكية الموضحة في الشكل رقم (١ , ٧) - مثلاً لا تعرق الدواجن، ويحتمل أن لا تبدي تكوينات حرارية ارتعاشية. ولا يبدو أيضًا وجود أنشطة لحظية بالنسبة لاستجابات المُشغّلات المعارضة[٢٠].

ويُفترض في الشكل رقم (١ , ٧) أن نظام تزويد-تحكم متعدد قد يؤثر على السلوك. وقد يؤثر تسخين وتبريد الوصلة الرئيسية والهايبوتلاموس وساق التحكم المنخفض على سلوك التنظيم الحراري[٢٦]. وقد تمت دراسة استجابات التنظيم الحراري على كل من حركة الحيوانات والاختلاط والتزاحم وتغيّرات معدلات الغذاء والماء والتكييف الفعّال. وقد حدد (Bladwin)[26] استجابات التنظيم الحراري السلوكية التي ظهرت على الحيوانات الثديية والطيور عند كل من درجات حرارة منخفضة ومرتفعة.

وتعطي عملية تكييف فعّال الحيوان فرصة التحكم في البيئة الحرارية عن طريق تشغيل آلية تسمح بتولد تغيّر حراري في الوسط. فعلى سبيل المثال، يتم تشغيل مصباح أشعة تحت حمراء في الوسط البارد أو توفير مصدر تبريد لفترات قصيرة في الوسط الحار. ولا يمكن منع استجابات التنظيم الحراري السلوكية، حيث يبدو أن كل أداة من أدوات التحكم تؤثر على السلوك. مرة أخرى، قد تختلف التأثيرات الكَمّية بين مسارات أدوات التحكم[٢٧]. ونجد بالإضافة إلى ذلك أن التفاعل بين استجابات السلوك الآلية والفعّالة توضح استجابات مفضلة. وتستخدم الدواجن عند التعرض لوسط بارد استجابات ارتعاش خاصة بها، كما يجثم الطائر ليغطي الأرجل غير المغطاة بالريش، وكذلك يثني الطائر الرقبة تحت الجناح بدلاً من عمل فعّالي للحصول على إمدادات حرارية[٢٨،٢٩]. ولم تؤخذ في الاعتبار تأثيرات تجهيزات الولادة على التنظيم الحراري السلوكي، وأن اعتبارات جادة بهذا المفهوم لابد وأن تؤخذ.

ومع أن الرسم التخطيطي في الشكل رقم (١ , ٧) يُبَسّط عملية التنظيم الحراري، إلا أن الرسم يتيح أساسيات فهم أهمية التفاعلات بين الحيوان والبيئة الحرارية. وعلى ذلك، يمكن النظر إلى التفاعلات بين البيئة الحرارية والحيوان من خلال الاتزان الحراري. فنجد من وجهة النظر العملية أن الحيوان يصبح عند أقصى كفاءة نشطة عندما يكون تحويل الغذاء إلى منتج قابل للبيع قد بلغ أقصاه. وهكذا، فإن التأثير المباشر للبيئة الحرارية على تبادل الطاقة يمكن أن يقلل من الكفاءة عن طريق زيادة الحرارة المفقودة أو بانخفاض طاقة الغذاء المستخدم.

الاتزان الحراري

(ENERGY BALANCE)

يعرّف الفرق بين الطاقة المكتسبة بواسطة الحيوان ومجموع الطاقات المفقودة بالطاقة الصافية، وهي التي تستخدم بواسطة الحيوان في النمو وزيادة النسل والحركة. ويزداد معدل التغذية، وبالتالي الطاقة المضافة للحيوان في الجو البارد، بينما يقل في الجو الحار[٣١،٣٢،٣٣]. كما يزداد أيضًا معدل التخلص من الفضلات سواء الروث أو البول مع الجو البارد[٣٤] ويقل مع الجو الحار. وبناءً على ذلك، فإن

الطاقة الأيْضية (metabolizable energy) - والتي تُعرّف على أنها الطاقة الكلية مطروحًا منها الطاقة المفقودة مع الروث والبول وفواقد الغازات - سوف تتغيّر مع درجة الحرارة. وقد تم ربط الأيْض الحراري بيانيًا [٣٥] ورياضيًا [٣٦] مع درجة الحرارة والفقد الحراري للحيوان.

ويُستخدم القانون الأول للديناميكا الحرارية للتعبير عن اتزان الطاقة الحرارية للحيوان كالآتي:

$$MHP \pm J \pm qrt \pm qcv \pm qcd - EHL = W(C_p)(dT_b/dt) \quad (٧,١)$$

حيث:

MHP = معدل الطاقة الحرارية المتولّدة بواسطة الأيْض

J = معدل الشغل الميكانيكي

qrt = معدل الحرارة المنتقلة بالإشعاع

qcv = معدل الحرارة المنتقلة بالحمل

qcd = معدل الحرارة المنتقلة بالتوصيل

EHL = معدل فقد الحرارة المستخدم فى تبخير الماء

W = وزن الحيوان

C_p = الحرارة النوعية لكتلة الجسم

T_b = درجة حرارة الجسم

t = الزمن.

وكما هو مُبيَّن، فإن الإشارة تكون موجبة بالنسبة للمركبات الخاصة بالحرارة المفقودة إذا كانت الطاقة المنتقلة تعمل على رفع درجة حرارة جسم الحيوان، بينما تكون الإشارة سالبة إذا كان الحيوان يفقد هذه الطاقات في الوسط المحيط به. ويعتبر الشغل المبذول (J) من الحيوان صغيراً بالمقارنة بالمركبات الأخرى، كما أنه يصعب قياسه، وعلى ذلك يمكن إهمال هذا الجزء. وغالبًا ما يؤول الطرف الأيمن من المعادلة

السابقة- وهو يمثل الحرارة المخزنة داخل الجسم- إلى الصفر؛ نظراً لاحتفاظ جسم الحيوان في حالة الاتزان بدرجة حرارة ثابتة. وعلى ذلك، فإن المعادلة السابقة تكون عبارة عن علاقة تربط أساساً بين الحالة الفسيولوجية للحيوان والبيئة الحرارية.

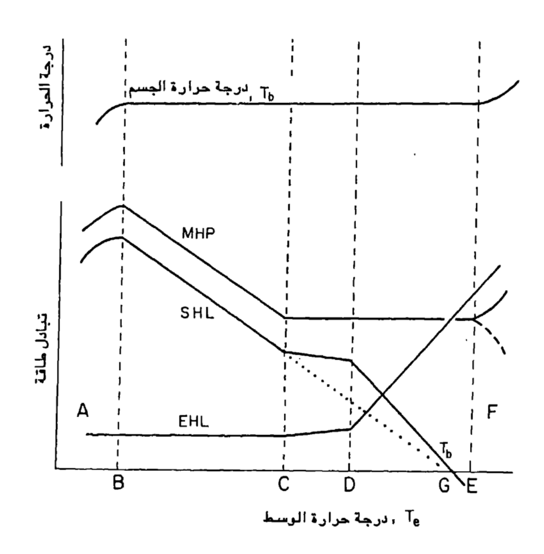
أَيْض الطاقة (Energy Metabolism)

تستخدم الطرق المسْعَرِيّة (الكالوريمترية) المباشرة وغير المباشرة في قياس أَيْض طاقة الحيوانات المزرعية[٦١،٣٧]. ومن الناحية الفنية نجد أن الطرق المباشرة تقيس الحرارة المفقودة وليس أَيْض الطاقة المتولد (MHP). وتُسجل البيانات في معظم الدراسات الكالوريمترية عندما يكون الحيوان في حالة اتزان حراري. وبناءً على المعادلة رقم (٧,١)، فإن أَيْض الطاقة (MHP) يساوي الحرارة الكلية المفقودة (THL). وتوجد دراسات قليلة جداً عن استخدام الطرق المسْعَرِيّة اللحظية سواء المباشرة أوغير المباشرة.

ويعطي الشكل رقم (٧,٢) رسماً تخطيطياً للتمثيل البياني للمعادلة رقم (٧,١). ويعتبر ذلك الرسم مبسطاً جداً عند توضيح العلاقات بين كل من أَيْض الطاقة المتولد (MHP) والحرارة المحسوسة المفقودة (SHL) والحرارة المفقودة بالتبخير (EHL) ودرجة حرارة الجسم كدالة في درجة حرارة الوسط. وقد عرّف Mount[62] درجة حرارة الوسط في هذا السياق على أنها درجة حرارة الهواء المساوية لدرجة حرارة الإشعاع المتوسط في نظام حمل حر عند رطوبة نسبية ٥٠٪.

ويوضح الشكل رقم (٧,٢) أيضاً العلاقات بين سريان الطاقة في مدلولاتها العامة. وهكذا، فتعتمد القيم الفعلية والعلاقة بين المنحنيات على أجناس الحيوانات مثلهما مثل عوامل التغذية والعمر والتأقلم والسلوك والنظم الإدارية. وسوف يتم تقديم القيّم الفعلية لحيوانات المزرعة في أجزاء قادمة من هذا الفصل.

ولقد أدت التغييرات في استخدام المصطلحات الفنية بالنسبة للمناطق البيئية والتعادل الحراري إلى خلق نوع من الإرباك[٦٢]. ويتبع العرض الخاص بالشكل رقم (٧,٢) المقترح الخاص بـ Mount[62]؛ نظراً لأن هذا المقترح يبدو دقيقاً في التعريف



شكل (٧,٢). رسم تخطيطي عام يوضح تجزيء الطاقة المتبادلة مع حيوان كدالة في درجة حرارة الوسط (كيّفت من Mount[62]).

وغير مشوّش. وقد تم تحديد المناطق والنقاط على الشكل رقم (٧,٢) لتكون: منطقة (A) – منطقة ما تحت الاعتدال الحراري؛ ومنطقة (CD) – منطقة أقل مجهود

للتنظيم الحراري؛ ومنطقة (CE) – منطقة أقل أيْض حراري ؛ ومنطقة (BE) – منطقة الانتظام الحراري ؛ ونقطة (B) – درجة حرارة أقصي قيمة لـ (MHP) ، ونقطة بداية ما تحت الاعتدال ؛ ونقطة (C) – درجة الحرارة الحرجة التي تحتها يبدأ (MHP) في الازدياد من أقل قيمة له بانخفاض درجة حرارة الوسط؛ ونقطة (D) – درجة الحرارة التي تبدأ عندها الزيادة الواضحة في (EHL) مع ارتفاع درجة حرارة الوسط؛ ونقطة (E) – درجة حرارة بداية ما فوق الاعتدال؛ ونقطة (G) – النقطة التي عندها (SHL = 0.0) ؛ نظراً لتساوي درجة حرارة الوسط مع درجة حرارة الجسم.

ويفترض أن تكون (SHL) في المدى (BD) ذات علاقة خطية؛ نظراً لأن الحرارة المفقودة تتناسب تقريبًا مع الفرق بين درجة حرارة الحيوان ودرجة حرارة الوسط. ويظل العزل الحراري الكلي (ميل خيط SHL) ثابتًا عند أقصاه في هذا المدى نتيجة لانقباض الأوعية الدموية. ويعتمد الميل الفعلي على مدى انقباض الأوعية الدموية وانتصاب الشعيرات والمفاهيم السلوكية للحيوان مثل التغيّرات المصاحبة للجلوس أو الوقوف. ونجد خلال المنطقة (CD) أن درجة حرارة الجسم ثابتة، بينما لا يوجد عرق أو نهجان، وأن (MHP) تكون عند أقل قيمة لها. ولايمكن إيجاد (SHL) بدقة؛ نظراً للتغيّرات الكثيرة في تمدد وانقباض الأوعية الدموية. وقد تنبسط الأوعية الدموية إلى أقصاها عند ارتفاع درجة حرارة الوسط من (D) إلى (G). وهكذا، فإن التنبؤ على امتداد الخط (BD) يتقاطع مع الخط (DG) على المحور عند درجة حرارة للوسط مساوية لدرجة حرارة جسم الحيوان.

وتكون (EHL) عند أقل قيمة لها عند درجات حرارة منخفضة للوسط، وتُحدد من خلال التنفس وانتشار بخار الماء على الجلد. و يجب أن تزداد (MHP) – كما هو موضح من(C) إلى (B) لكي يحافظ الحيوان على درجة حرارة ثابتة للجسم. ونجد أن – (MHP) عند درجات حرارة مرتفعة للوسط – تنخفض إلى أقل مستوى مقاس، بينما تزداد (EHL) بسرعة. ولابد وأن تكون (EHL) متساوية بين (D) و (G) – ولكن عكس (SHL) – وذلك للمحافظة على درجة حرارة ثابتة للجسم. وهكذا، فإن تقاطع (MHP) مع (EHL) يحدث عند درجة حرارة للوسط مساوية لدرجة حرارة الجسم.

ومع أن منطقة الانتظام الحراري الموضحة في الشكل رقم (٢ , ٧) تمتد من (B)

إلى (E) ، إلا أنه من غير المرجح أن تظل درجة حرارة الجسم ثابتة من (G) إلى (E) . ولكي تبقى درجة حرارة الجسم ثابتة داخل هذا المدى، فإنه يتعين على الحيوان أن يتخلص من كل الطاقة الأيْضية عن طريق البخر . و يجب أن يتخلص الحيوان بعد نقطة (G) من (MHP) بالإضافة إلى الحرارة المحسوسة المكتسبة لكي يحافظ على درجة حرارة الجسم ثابتة، وإن كان هذا يبدو صعبًا مع معظم أجناس الحيوانات .

ويوضح منحنى (MHP) التقليدي بعد نقطة E زيادة (MHP) . وترجع هذه الزيادة إلى زيادة الطاقة المطلوبة لعملية اللهث . وقد ترتفع (MHP) بالنسبة للتجارب قصيرة-المدى نتيجة للإجهاد الحراري الواقع على الحيوان، ولكن نجد مع طول الفترة الزمنية أن الحيوان يقلل من كمية الغذاء المتناولة والتي سوف تتضح في صورة انخفاض في (MHP) - المنحنى المنقط- بعد نقطة (E)[٣٠] .

إن أمثل بيئة حرارية - كما تم تحديده سابقًا - هي التي تُعظّم كفاءة الطاقة بناءً على طاقة الغذاء المتداولة والإنتاج القابل للبيع . وليس بالضروري صحة مقولة أن أمثل بيئة حرارية هي المرادفة لأمثل بيئة تنظيم حراري . وقد أصبحت " النظم التقريبية " بدون شك ضرورية للأخذ في الاعتبار بالنسبة للعديد من الأمثلة المرتبطة بالاقتصاديات وعلم الصحة والعمالة والأمراض وغيره .

انتقال الحرارة المحسوسة (Sensible Heat Transfer)

يتسرب الأيْض الحراري (MHP) من الحيوان بواسطة الفقد الحراري المحسوس (SHL) والفقد الحراري الكامن (EHL)، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (٢, ٧) . ويعتمد انتقال الحرارة بالوسائل المحسوسة على خصائص سطح جسم الحيوان والظروف الخاصة بالوسط المحيط - أي درجة الحرارة الجافة وحركة الهواء ودرجات الحرارة للأسطح المحيطة وخصائص الحوائط الداخلية الحرارية . ويمكن تجزئة الحرارة المحسوسة من الحيوان إلى عناصرها المتمثلة في الحرارة المفقودة بالإشعاع والحمل والتوصيل والحرارة المحسوسة المتبادلة مع هواء التنفس - حالة خاصة من انتقال الحرارة بالحمل .

انتقال الحرارة بالإشعاع (Radiant Heat Transfer)

يتم حساب الإشعاع طويل الموجة بين سطح الحيوان والوسط المحيط به باستخدام قانون (Stefan-Boltzmann) لانتقال الحرارة بالإشعاع[٦٤]. وبفرض تربية الحيوان في مبنى بدون شبابيك ذو تهوية ميكانيكية، فإنه يتم إهمال الأشعة قصيرة الموجة.

$$qrt = \frac{A_S\,(\sigma)(Ts^4 - Te^4)}{(1/\varepsilon_S) + (A_S/A_e)((1/\varepsilon_e) - 1)} \qquad (٧,٢)$$

حيث:

qrt = المعدل الصافي للتبادل الحراري بالإشعاع

σ = ثابت بولتزمان (٥,٦٧ × ١٠^-٨ واط/ م٢. ك٤)

A_S = مساحة سطح الحيوان المتعرضة للإشعاع

A_e = مساحة الأسطح المحيطة بالحيوان

Ts = درجة الحرارة المطلقة لسطح جسم الحيوان

†Te = درجة الحرارة المطلقة للأسطح المحيطة بالحيوان

ε_S = معامل الإشعاع لسطح الحيوان

ε_e = معامل الإشعاع للأسطح المحيطة.

وقد تم استنباط المعادلة رقم (٢ ,٧) بالنسبة للحالة المبسطة لجسم في حالة اتزان مع وسط محدد جيداً، بينما تكون العملية غاية في التعقيد بالنسبة لمنشأة حيوانات. ويرجع السبب في ذلك إلى تغيّرات درجة حرارة سطح الحيوان وعدم تجانس درجات حرارة أسطح الحوائط الداخلية للمبنى، وكذلك إلى التبادل الحراري بالإشعاع مع الحيوانات الأخرى والأجهزة الموجودة داخل المبنى. ويعتمد الإشعاع الحراري من على سطح جسم الحيوان على درجة حرارة سطح الجلد إذا لم يكن مغطى. أما إذا كان سطح جسم الحيوان مغطى سواء بالشعر أو الصوف أو الريش،

فإنه يصعب تقدير درجة حرارة السطح التي يُحسب على أساسها كمية الحرارة المتبادلة بالإشعاع. وتقدر درجة الحرارة في تلك الحالة بمتوسط درجة حرارة كل من جلد الحيوان والشعر أو الريش[٤٣،٦٥]. وهكذا، تعتبر عملية تقدير الحرارة الكلية المفقودة بالإشعاع صعبة عن طريق إيجاد توزيعات لدرجات حرارة الأسطح المشعة. ويمكن عمليًا استخدام مِسْعَر (Calorimetry) تجزيئي مباشر لإيجاد التبادل الإشعاعي.

انتقال الحرارة بالحمل (Convective Heat Transfer)

يحدث انتقال الحرارة بالحمل من على سطح الحيوان نتيجة مرور تيار من سائل – هواء – سواء كان هذا التيار مدفوعًا أو طبيعيًا –حر– وذلك إذا كان هناك فرق في درجة الحرارة بين سطح جسم الحيوان والهواء المار. ويمكن وصف التعبير المستخدم لحساب انتقال الحرارة بالحمل كالآتي:

$$q_{cv} = h A_S (T_S - T_a) \quad (٧,٣)$$

حيث:

q_{cv} = معدل انتقال الحرارة بالحمل

h = معامل انتقال الحرارة بالحمل

T_a = درجة حرارة الهواء المحيط بالحيوان

A_S = المساحة السطحية لجسم الحيوان والتي يحدث معها تبادل حراري.

و تكمن المشكلة في حساب (h) ، حيث يعتمد هذا المعامل على العوامل الهندسية لحجم وشكل الحيوان وسرعة الهواء ودرجة الحرارة وخواص الهواء مثل الكثافة واللزوجة ومعامل التوصيل. وأيضًا خصائص السطح الذي يحدث معه التبادل الحراري مثل مدى خشونة سطح الجلد والغطاء سواء كان من الشعر أو الريش. فقد تختلف هذه الخصائص عن ما إذا كانت الأسطح المستخدمة ناعمة ملساء كما في كثير من التطبيقات الهندسية. وبالرغم من وجود كل هذه العوامل المؤثرة على حساب (h) ، إلا أن الأسلوب العملي والشائع الاستخدام يكون باتباع

نفس التقريب الهندسي مع المجموعات الرقمية. فيوجد رقم ناسيلت (Nu) الذي يستخدم لحساب (h) في حالة ما إذا كان تيار الحمل طبيعيًا أو مدفوعًا. ويكتب هذا الرقم على الصورة التالية:

$$Nu = h(L)/(K) \qquad (٧,٤)$$

حيث:

L = خصائص أبعاد جسم الحيوان (أي أن الارتفاع والقطر وغيره)

K = معامل التوصيل الحراري للهواء.

ويكون رقم ناسيلت في حالة ما إذا كان تيار الحمل طبيعيًا دالة في حاصل ضرب كل من رقم براندل (Pr) مع رقم جريشوف (Gr). ويعتبر رقم براندل ثابتًا في مدى درجات حرارة البيئة المحيطة بالحيوان، وقد عُبر عنه في المعادلة بقيمة ثابتة، وعلى ذلك تصبح المعادلة:

$$N_u = A\ (Gr)^n \qquad (٧,٥)$$

حيث:

A و n = ثوابت تتحدد بالتجربة

Gr = رقم جريشوف

$= g\ (\beta)(L^3)(\rho^2)(\Delta T)/\upsilon^2$

g = عجلة الجاذبية

β = معامل التمدد

$= T^{-1}$

T = متوسط درجة حرارة كل من سطح الحيوان والهواء

L = خاصية مرتبطة بأبعاد جسم الحيوان

ρ = كثافة الهواء

ΔT = فرق درجة الحرارة بين سطح الحيوان والهواء

υ = اللزوجة الديناميكية للهواء.

ويكون معامل انتقال الحرارة بالحمل المدفوع (h) دالة في نفس المتغيّرات المستخدمة في حالة حساب معامل انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي باستثناء فرق درجة الحرارة (ΔT). ويعتمد معامل الحمل المدفوع أيضًا على سرعة الهواء، ويتم تعريفه من خلال رقم رينولد (Re) كالآتي :

$$R_e = \rho(V)(L)/\upsilon \qquad (٧,٦)$$

حيث :

V = سرعة الهواء.

ويكون التعريف الهندسي لرقم ناسيلت بالنسبة للحمل المدفوع عبارة عن حاصل ضرب رقم براندل مع رقم رينولد. ونظرًا لأن رقم براندل يعتبر ثابتًا بالنسبة لظروف بيئة الحيوان، فإن الشكل النموذجي لانتقال الحرارة بالحمل يصبح :

$$Nu = BR_e^{m} \qquad (٧,٧)$$

حيث :

m و B ثوابت يتم إيجادها تجريبيًا.

و يمكن إيجاد ثوابت المعادلتين رقمي (٦ , ٧) و(٧ , ٧) من مراجع كثيرة بالنسبة للنظم الهندسية[٦٤] والحالات البيولوجية[٢٤، ٦٦، ٦٧]. ولكن نظرًا لصعوبة تحديد خصائص سطح جسم الحيوان ومنها المساحة السطحية، فإنه يتم قياس معدل انتقال الحرارة بالحمل في أبحاث كثيرة باستخدام الأجهزة المسْعَريّة (الكالوريمترية) .

انتقال حرارة التنفس المحسوسة (Respiratory Sensible Heat Transfer)

تعتبر الحرارة المحسوسة المتبادلة مع جهاز التنفس مركبة أخرى من (SHL). فتتولد الحرارة المحسوسة المفقودة مع جهاز التنفس من فرق درجات حرارة الهواء بين عمليتي الشهيق والزفير، والتي يمكن التعبير عنها كالآتي :

$$RSL = \rho(V)(c_p)(T_{ex} - T_a) \quad (٧ , ٨)$$

حيث :

RSL = معدل الفقد الحراري المحسوس مع التنفس

V = معدل الهواء المستخدم في التنفس

ρ = متوسط كثافة الهواء

c_p = متوسط الحرارة النوعية للهواء عند ضغط ثابت

T_{ex} = درجة حرارة هواء الزفير

T_a = درجة حرارة هواء الشهيق (هواء الوسط) .

وتعتبر هذه المركبة صغيرة نسبيًا بالنسبة لمعظم حيوانات المزرعة ، وذلك بالمقارنة بمركبة الحرارة الكامنة الخارجة مع هواء التنفس .

انتقال الحرارة بالتوصيل (Conduction Heat Transfer)

يتبادل الحيوان الحرارة بالتوصيل إذا حدث اتصال مباشر بين جسم الحيوان مع جسم آخر درجة حرارته أقل أو أعلى من درجة حرارة الحيوان . وتعتمد كمية الحرارة المتبادلة على فرق درجات الحرارة بين سطح التلامس وجسم الحيوان ومساحة التلامس و معامل التوصيل لسطح التلامس . ويمكن كتابة التعبير المبسط لانتقال الحرارة بالتوصيل على الصورة :

$$q_{cd} = k(A)(T_s - T_x)/X \quad (٧ , ٩)$$

حيث :

q_{cd} = معدل انتقال الحرارة بالتوصيل

k = معامل التوصيل الحراري لسطح التلامس

A = مساحة التلامس

X = سمك سطح التلامس

T_S = درجة حرارة سطح جسم الحيوان

T_X = درجة حرارة سطح التلامس عند عمق (X) من السطح الفاصل بين سطح الحيوان وسطح التلامس.

وقد يكون معدل انتقال الحرارة بالتوصيل ذا قيمة تذكر فقط عند جلوس الحيوان، وأن مساحة كبيرة نسبيًا من جسم الحيوان تتلامس مع سطح التوصيل. ويمكن أن يُغيّر الحيوان سلوكيًا من معدل الفقد الحراري بالتوصيل عند الضرورة، وذلك بالوقوف والحركة في الأماكن، حيث معامل التوصيل يكون أقل نتيجةً مثلاً لوجود فرشة أرضية تعمل كوسط عازل بين سطح الحيوان والأرضية. وقد استخدمت معظم الدراسات أجهزة لقياس معدل سريان الحرارة بالتوصيل من حيوان راقد على الأرضية، وذلك لصعوبة قياس كل من (A) و(T_S) في المعادلة رقم (٧ , ٩).

الحرارة المفقودة بالتبخير (Evoporative Heat Loss)

يتضح من الشكل رقم (٧ , ٢) أن الحرارة المفقودة بالتبخير لابد وأن تزداد مع زيادة درجة حرارة الوسط؛ نظرًا لانخفاض (SHL). وعامة يوجد ثلاث مسالك بالنسبة لـ(EHL): (أ) الانتشار السلبي لبخار الماء من خلال الجلد، (ب) العرق و(جـ) التبادل التبخيري التنفسي.

التبادل الانتشاري (Diffusion Exchange)

يحدث الفقد المائي التبخيري عند سطح الجلد نتيجةً للانتشار السلبي لبخار الماء من خلال طبقة الجلد كما هي الحال في عملية عرق فعّالة. ولاتتعرض مركبة الانتشار السلبي للتحكم بواسطة التنظيم الحراري والتي يمكن حسابها بواسطة:

$$EDL = M_m A_s (P_s - P_a)\lambda \quad (٧ , ١٠)$$

حيث:

EDL = معدل الفقد الحراري نتيجة لانتشار بخار الماء من خلال جلد

الحيوان

M_m = معامل نفاذية الجلد لبخار الماء، وهودالة في كل من سرعة واتجاه الهواء وشكل وطبيعة سطح الجلد

A_s = مساحة سطح جسم الحيوان

P_s = الضغط الجزئي المشبع لبخار الماء عند درجة حرارة سطح الجلد T_S

P_a = الضغط الجزئي لبخار الماء عند درجة حرارة الهواء

λ = حرارة التبخير الكلية للماء، وقد وجد أن حرارة التبخير الكلية يمكن حسابها بواسطة:

$$\lambda = \lambda_s - C_W (T_s - T_a) \quad (٧, ١١)$$

حيث:

λ_s = الحرارة الكامنة لتبخير الماء عند درجة حرارة سطح الجلد، T_s

C_W = الحرارة النوعية لبخار الماء عند ضغط ثابت.

وتمثل مركبة الانتشار جزءاً مهمًا من (EHL) فقط عند درجات حرارة منخفضة للجو، ولكن سرعان ما تتناقص قيمة هذا الجزء عند درجات حرارة مرتفعة للوسط.

العرق (Sweating)

يتـــــوقف معدل بخر العرق أساسًا على معدل إفراز بخار الماء من الغدد العرقية[٦٣]. وقد يصبح الجلد جافًا لو كان معدل البخر أكبر من معدل إفراز العرق. ومن الناحية الأخرى، تتراكم الرطوبة على الجلد وتنساب بدون أي تبريد للجسم إذا كان الانحدار في ضغط البخار غير كافٍ لتبخير كل العرق[٦٣].

وتعتمد كمية الحرارة المفقودة نتيجة انسياب العرق بانتظام (ESL) على معدل رشح العرق من الغدد وحركة العرق خلال العروق تحت سطح الجلد وتكوّن العرق كطبقة رقيقة من السائل على سطح الجلد ومعدل بخر السائل من على سطح الجلد. ولاتحتوي في الغالب حيوانات المزرعة على غدد عرقية بكفاءة غدد الإنسان

العرقية. ولكن ارتبطت عملية البخر في الماشية بعدد الغدد العرقية، في حين أنه لم يلاحظ تكون أي عرق على جلد الطيور.

ويمكن التعبير عن الحرارة المفقودة بالتبخير نتيجة العرق بالعلاقة الآتية، وذلك بفرض تساوي البخر مع معدل العرق:

$$ESL = S(A_s)(\lambda_s) \qquad (٧, ١٢)$$

حيث:

ESL = معدل الفقد الحراري نتيجة لتبخر العرق من على سطح الجلد

S = معدل العرق بالنسبة لوحدة المساحة من سطح الجلد.

الفقد الحراري التبخيري التنفسي

(Respiratory Evaporative Heat Loss)

يحدث الفقد الحراري التبخيري في عملية التنفس نتيجة لخروج بخار الماء مع هواء التنفس. وتتم هذه العملية أساسًا في الجزء العلوي من جهاز التنفس. ويخرج جزء كبير من الحرارة الكلية المفقودة من الحيوان مع الجهاز التنفسي في صورة حرارة كامنة خاصةً عند درجة حرارة مرتفعة للوسط. فيصبح الهواء مشبعًا بعد مروره على الأسطح المبللة لبقع التنفس وعند درجة حرارة قريبة من درجة حرارة جسم الحيوان. ويحتوي هواء الزفيرعلى حرارة ورطوبة أعلى من هواء الشهيق طالما أن درجة حرارة الهواء لاتساوي درجة حرارة جسم الحيوان، وأن الهواء غير مشبع بالرطوبة.

ويمكن حساب الحرارة المفقودة بالتبخير– الكامنة– مع التنفس كالآتي:

$$REL = \rho(V)(W_{ex} - W_a)\lambda_s \qquad (٧, ١٣)$$

حيث:

REL = معدل فقد الحرارة بالتبخير مع هواء الزفير

W_{ex} = نسبة رطوبة هواء الزفير

W_a = نسبة رطوبة هواء الشهيق (الهواء الجوي)

λ_s = الحرارة الكامنة لتبخير الماء عند درجة حرارة متوسطة لسطح التنفس .

ويعتبر معدل التنفس للحيوان عاملاً يمكن التحكم فيه فيسيولوجيًا على حسب درجة حرارة الوسط المحيط بالحيوان . فتوجد بعض الحيوانات - ماشية وغنم ودواجن- التي لها المقدرة على تغيير أسلوب التنفس من تنفس سريع إلى تنفس منخفض (مرحلةأولى) ثم إلى تنفس بطيء وعميق - مرحلة ثانية- وذلك في الأجواء شديدة الحرارة . ويعتبر التغيير في أسلوب التنفس مثالاً لنظم التحكم في درجة حرارة الجسم ومحاولة لمواجهة المتطلبات اللحظية من ارتفاع (EHL) والتبادل الغازي بدون زيادة قلوية الدم والأنسجة .

تأثيرات درجة الحرارة

(EFFECTS OF TEMPERATURE)

تؤثر درجة حرارة الوسط تأثيراً مباشراً على الحرارة المفقودة من الحيوانات والدواجن . وتؤثر الحرارة المفقودة من الحيوانات في المباني المغلقة بدورها على كل من درجة الحرارة ونسبة رطوبة الوسط . ويبين الجدولان رقما (١ , ٧) و(٢ , ٧) بعض القيم الرقمية لكل من الرطوبة المتولدة (MP) والحرارة المحسوسة المفقودة (SHL) لتساعد على التصميم الحراري لوحدة إنتاج مغلقة ، وذلك كدالة في كل من جنس ووزن الحيوان ودرجة حرارة الهواء -- حيث يُفترض تساوي كل من درجة حرارة الهواء ومتوسط درجة الحرارة المشعة . وقد تم وضع المدى المفضل لدرجة الحرارة الخاصة بأداء الحيوان في الأجزاء المرتبطة بالإنتاج وزيادة النسل . وتعرّف الحرارة المفقودة بالتبخير(EHL) على أنها حاصل ضرب الرطوبة المتولدة (MP) في الحرارة الكامنة للتبخير .

فواقد الحيوان الحرارية (Animal Heat Losses)

يعتمد كل من حمل التدفئة والرطوبة في مبنى إنتاج حيواني - بالنسبة لأي جنس من الحيوانات - على كل من درجة الحرارة الداخلية المرغوبة ووزن الحيوان. وعامة تنخفض الحرارة المحسوسة المفقودة من الحيوان (SHL) وتزداد الحرارة المفقودة بالتبخير (EHL) مع زيادة درجة حرارة الوسط، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (٧, ٢). و تتناسب كمية الحرارة الكلية المفقودة من الحيوان مباشرةً مع وزن الحيوان مرفوع إلى قيمة أسية[٧٠]. وبناءً على ذلك، تنخفض الحرارة الكلية المفقودة بالنسبة لوحدة الأوزان من الحيوان مع زيادة وزن الحيوان. والجدير بالذكر أنه يجب عند النظر إلى البيانات أو العلاقات التي تربط الحرارة المفقودة مع وزن الحيوان عدم التنبؤ بكمية الحرارة المفقودة خارج المدى المحدد، وذلك في حالة التصميم للتهوية عند درجات حرارة خارج ذلك المدى.

وتوضح النتائج المستخلصة على معظم الحيوانات التي تحتفظ بدرجة حرارة ثابتة للجسم بدءاً من الجرذان حتى الماشية أن معدل الأيْض الحراري مقسومًا على وزن الجسم ومرفوعًا للأس ثلاثة-أرباع يكون مستقلاً من حجم الجسم[٣٥]. ويمكن تحديد خصائص معدل الأيْض الحراري الأساسي للحيوانات البالغة تحت ظروف قياسية بواسطة:

$$MHP = 3.5\,(W)^{0.75} \qquad (٧, ١٤)$$

حيث:

MHP = معدل الأيْض الحراري، واط

W= وزن الحيوان، كجم.

ونجد بالنسبة للأغراض الحسابية لحمل التدفئة والحرارة المكتسبة من الحيوانات النشطة حدوث تزايد جوهري في الحرارة المتولدة من الحيوان عن الحرارة الناتجة من المعادلة رقم (٧, ١٤). وللتقدير الآمن للحرارة المتولدة خلال نسبة خطأ مسموح به، فإنه يمكن الحصول على الحرارة الكلية المكتسبة من الحيوان بضرب ناتج المعادلة رقم (٧, ١٤) في قيمة تتراوح مابين ٢ و٣.

ويبين الجدولان رقما (٧, ١) و(٧, ٢) الرطوبة المتولدة (MP) والحرارة المحسوسة المفقودة (SHL) و الحرارة الكلية (THL) بالنسبة للماشية و الدواجن.

جدول (١ ,٧). الرطوبة المتولدة (MP) والحرارة المحسوسة المفقودة (SHL) والحرارة الكلية المفقودة (THL) من الماشية.

الحيوانات	درجة حرارة المبنى، °م	MP جم ماء/ كجم. ساعة	SHL واط/ كجم	THL واط/ كجم	رقم المرجع
الماشية					٨٢
بقر حلاب					
(حظيرة)					
٥٠٠ كجم	-١	,٧٧	١,٩	٢,٤	
٥٠٠ كجم	١٠	١,٠	١,٥	٢,٢	
٥٠٠ كجم	١٥	١,٣	١,٢	٢,١	
٥٠٠ كجم	٢١	١,٣	١,١	٢,-	
٥٠٠ كجم	٢٧	١,٨	,٦	١,٩	
ماشية اللحم					٨٣
(حظيرة)					
٥٠٠ كجم	٤	٢,٥	١,٥	٢,٨	
عجول					٦٠
ذكور ايرشاير					
غرفة محكمة					
٣٩ كجم (٨ أيام)	٣	,٧	٢,٥	٢,٩	
٤٠ كجم (١٤ يومًا)	٣	,٧	٢,٤	٢,٨	
٤٥ كجم (٢٥ يومًا)	٣	,٧	٢,٦	٣,٠	
٣٩ كجم (٨ أيام)	٢٣	,٧	٢,٠	٢,٤	
٤٠ كجم (١٤ يومًا)	٢٣	,٧	١,٩	٢,٣	
٤٤ كجم (٢٤ يومًا)	٢٣	,٧	٢,٠	٢,٤	

تابع جدول (١,٧).

الحيوانات	درجة حرارة المبنى، °م	MP جم ماء/ كجم. ساعة	SHL واط/ كجم	THL واط/ كجم	رقم المرجع
ذكور فريزيان إنجليزي					٩٩
(غرفة محكمة)					
١٧ كجم	٢٠	–	–	٢,٣	
الجيرسي					٩٩
٢٨ كجم (غرفة محكمة)	٢٠	–	–	٢,٦	
ذكور فريزيان إنجليزي					٩٨
(غرف محكمة)					
من يومين حتى ٨ أسابيع	٥	–	–	(٧,٩)	
من يومين حتى ٨ أسابيع	١٠	–	–	(٧,٣)	
من يومين حتى ٨ أسابيع	١٥	–	–	(٧,٣)	
هيري فورد × ذكور فريزيان (غرف محكمة)					
من يومين حتي ٨ أسابيع	٥	–	–	(٧,٣)	
من يومين حتي ٨ أسابيع	١٠	–	–	(٦,٥)	
من يومين حتي ٨ أسابيع	١٥	–	–	(٦,٥)	
ذكور فريزيان إنجليزي					٩٧
(غرف محكمة)					
٩٠ – ١٨٠ كجم	٥	٢,٢	٦,٨	٨,٢	
١٠٠ كجم	٥	,٧٥	٢,١	٢,٦	
٩٠ – ١٨٠ كجم	١٠	٤,٤	٦,٢	٩,٣	
١٠٠ كجم	١٠	١,٤	٢	٢,٦	
٩٠ – ١٨٠ كجم	١٥	٦,٢	٤,٦	٨,٧	
١٠٠ كجم	١٥	٢	١,٤	٢,٨	

تابع جدول (١,٧).

الحيوانات	درجة حرارة المبنى، م	MP جم ماء/ كجم. ساعة	SHL واط/كجم	THL واط/ كجم	رقم المرجع
٩٠ - ١٨٠ كجم	٢٠	٧,١	٤,٤	٩,١	
١٠٠ كجم	٢٠	٢,٣	١,٤	٢,٩	
سويسري بني					٨٤
هولستين					
(حظيرة)					
١٦ أسبوعًا	١٠	٢,٠	٢,٣	٣,٧	
٣٢ أسبوعًا	١٠	١,٢	١,٥	٢,٤	
٤٨ أسبوعًا	١٠	١,٠	١,٥	٢,٢	
١٦ أسبوعًا	٢٧	٣,٠	١,٥	٣,٥	
٣٢ أسبوعًا	٢٧	٢,٢	١,١	٢,٦	
٤٨ أسبوعًا	٢٧	١,٩	١,٠	٢,٢	
چيرسي					٨٤
(حظيرة)					
١٦ أسبوعًا	١٠	٢,٤	٢,٥	٤,١	
٣٢ أسبوعًا	١٠	١,٥	١,٨	٢,٨	
٤٨ أسبوعًا	١٠	١,٣	١,٦	٢,٥	
١٦ أسبوعًا	٢٧	٣,٨	١,٤	٣,٩	
٣٢ أسبوعًا	٢٧	٢,٥	١,٠	٢,٧	
٤٨ أسبوعًا	٢٧	٢,٣	,٨	٢,٣	

تابع جدول (١,٧).

الحيوانات	درجة حرارة المبنى، م°	MP جم ماء/ كجم. ساعة	SHL واط/ كجم	THL واط/ كجم	رقم المرجع
شورت هورن					٨٢
٢٥ أسبوعًا	١٠	١,٦	١,٤	٢,٥	
٥٥ أسبوعًا	١٠	١,٠	١,٠	١,٦	
٢٥ أسبوعًا	٢٧	٢,٨	,٧	٢,٦	
٥٥ أسبوعًا	٢٧	١,٨	,٥	١,٧	
خنازير (٦٠ كجم)	١٠	١,٣	٢,٠	٢,٩	
	٢٠	١,٧	١,٣	٢,٤	
	٣٠	٢,٧	٠,٥	٢,٣	
٨٠ كجم	١٠	١,١	١,٨	٢,٥	
	٢٠	١,٤	١,٢	٢,١	
	٣٠	٢,٢	٠,٥	١,٩	
الأغنام					٧٩
٦٠ كجم					
طول الصوف					
مجزوز	٨	,٣٣	٢,٤	٢,٦	
	٢٠	,٤	١,٥	١,٧	
	٣٢	,٧٩	,٨١	١,٣	
٣ سم	٨	,٣٤	١,٢	١,٤	
	٢٠	,٥٢	,٩٤	١,٣	
	٣٢	١,٣	,٤٥	١,٣	
٦ سم	٨	٨	١,٠	١,٣	
	٢٠	٢٠	,٦٨	١,٢	
	٣٢	٣٢	,٢٩		

جدول (٧,٢). الرطوبة المتولدة (MP) والحرارة المحسوسة المتولدة (SHL) والحرارة الكلية المفقودة (THL) من الدجاج.

الحيوانات	درجة حرارة المبنى، م	MP جم ماء/ كجم. ساعة	SHL واط/ كجم	THL واط/ كجم	رقم المرجع
دجاج بيّاض					٣٧
لوجهورن					
(غرف محكمة)	٨	٢,١	٤,٥	٥,٨	
	١٢	٢,٨	٤,٠	٥,٩	
	١٨	٢,٩	٣,٩	٥,٨	
	٢٨	٣,٨	٣,٢	٥,٨	
دجاج لاحم					
١ , كجم	٢٩	٤	١٢	١٤	٧٦
٧ , كجم	٣٠	١٠	٦	١٢	٧٧
	٢٥	٣	٧	٩	٧٦
	١٦	٧	٦	١١	٧٧
١ , ١ كجم	٣٠	١٠	٤	١١	٧٨
	١٩	١,٨	٧	٨,٩	٧٦
	١٦	٤,٥	٣,٦	٧,٢	٧٧
١,٦ كجم	١٩	٢,٠	٥,٧	٧,١	٧٦
٢,٠ كجم	١٩	١,٤	٤,٨	٥,٨	٧٦

المرجع ٧٦ (غرفة محكمة) والمرجعان ٧٧ ، ٧٨ بيوت بدون شبابيك

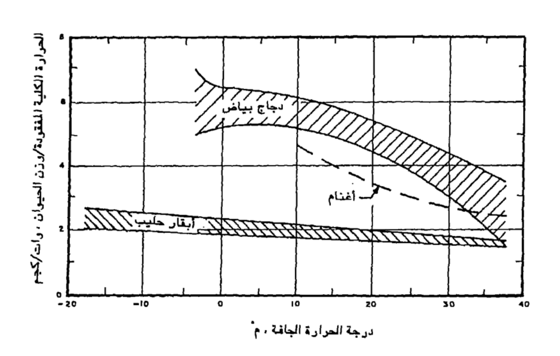
تابع جدول (٢,٧).

الحيوانات	درجة حرارة المبنى، °م	MP جرام ماء/كجم. ساعة	SHL واط/كجم	THL واط/كجم	رقم المرجع
الدجاج الرومي					
أبيض حجم كبير					
(غرف محكمة)					
تومس					
١ , كجم	٣٥	١٥,٦	٦,١	١٦,٨	٨٥
٢ , كجم	٣٢	٩,٨	٦,٣	١٢,٩	٨٥
٤ , كجم	٢٩	٧,٢	٥,٤	١٠,٢	٨٥
٦ , كجم	٢٧	٤,١	٥,٩	٨,٧	٨٥
٠ , ١ كجم	٢٤	٢,٤٠	٦,٣	٧,٩	٨٥
١٥ كجم	٢٥	١,٧	١,١	٢,٢	١٤٢
أبيض رواست					
(غرف محكمة)					
تومس					٣٧
٦ , ٢ كجم (نهاراً)	٢١	–	–	٧,٩	
٨ , ٣ كجم (نهاراً)	٢١	–	–	٧,٨	
١ , ٣ كجم (ليلاً)	٢١	–	–	٥,٩	
أبيض بلت سفيل					
(غرف محكمة)					٨٦
تومس					
٩ , ٨ كجم	١٨	١,٦	٢,٤	٣,٥	
	٢٥	٢,٠	١,٠	٣,١	

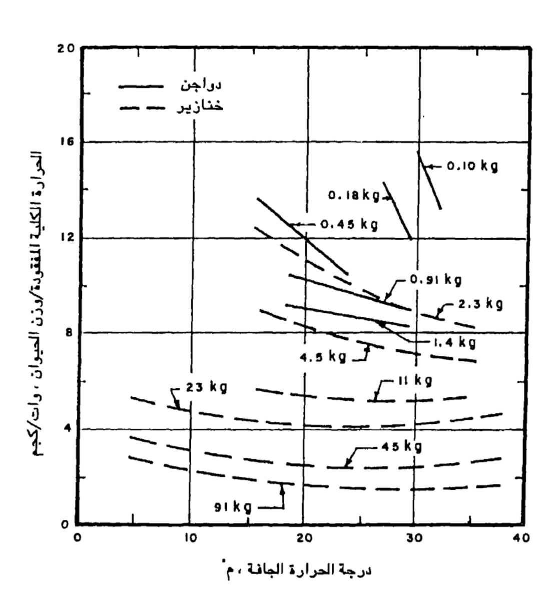
تابع جدول (٧,٢).

الحيوانات	درجة حرارة المبنى، °م	MP جم ماء/ كجم. ساعة	SHL واط/ كجم	THL واط/ كجم	رقم المرجع
دجاج بيّاض					٨٦
٤,٤ كجم	١٨	١,٤	٢,٤	٣,٣	
	٢٦	٣,٨	١,٠	٣,٥	
برود برستيد برونز					
(غرف محكمة)					
تومس					
١٧ كجم	١٠	,٣٥	١,٩	٢,١	
	١٥	,٥٣	١,٧	٢,٠	
	٢٠	,٦٦	١,٦	٢,١	
١٦ كجم	٢٥	,٨٨	١,٥	٢,١	
١٧ كجم	٣٠	١,١	,٨١	١,٥	
١٦ كجم	٣٥	١,٥	,٤٤	١,٤	
دجاج بيّاض					
٩,٨ كجم	١٠	,٣١	٢,١	٢,٢	
٩,٥ كجم	١٥	,٧٥	١,٩	٢,٤	
٩,٥ كجم	٢٠	,٧	١,٦	٢,٠	
٩,٣ كجم	٢٥	,٨٣	١,٥	٢,١	
٩,١ كجم	٣٠	١,٠	١,٠	١,٦	
٨,٧ كجم	٣٥	١,٣	,٦٤	١,٤	

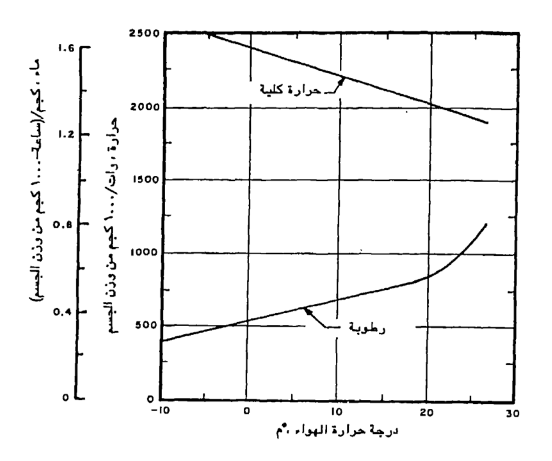
وتوضح الأشكال أرقام (٣ , ٧) و(٤ , ٧) و(٥ , ٧) أيضًا الحرارة الكلية المفقودة لعدة أنواع من الحيوانات كدالة في درجة حرارة الوسط. ونجد بالنسبة للحيوانات التي ليست على مستوى طبيعي من التغذية انخفاض كل من الحرارة والرطوبة المتولدة إلى النصف أو أقل، وذلك على حسب درجة حرارة الوسط ومستوى التغذية. ويحدث الانخفاض في الفواقد الحرارية نتيجة لانخفاض مستوى التغذية مثلاً أثناء شحن الحيوانات أو أثناء استخدام مستوى تغذية منخفض كأداة اقتصادية.



شكل (٧,٣). الحرارة المفقودة المقارنة لحيوانات ناضجة منتجة[١٤٧]



شكل (٤,٧). الحرارة المفقودة المقارنة لحيوانات تنمو[١٤٧]



شكل (٧,٥). معدلات الحرارة والرطوبة المتولدة في حظيرة مرابط للماشية الحلابة.

وتحتاج كمية الحرارة المفقودة من الأغنام التي على مستوى تغذية منخفض إلى الضرب في معامل يتراوح مابين ٤, ١ و٢، وذلك للحصول على الحرارة المفقودة في حالة التغذية الكاملة(٨٠) . وقد كانت أقل حرارة متولدة من أغنام على مستوى غذائي ٩٠٠ جم من مكعبات التبن المجفف في اليوم ٨١ واط، وذلك بالمقارنة بالقيمة ١١٧ واط أو ٤, ١ مرة في حالة التغذية المرتفعة بمستوى ١٨٠٠ جم في اليوم(٨٠) . وقد كان

متوسط الرطوبة المتولدة من أغنام ذات سمك صوف من ٦ إلى ٧ سم على مستوى غذائي قياسي لمدة ١٢ ساعة قبل القياسات المسْعَرية وعند درجة حرارة للوسط ٢٥ ْم هو ١,٨ جم ماء/ (ساعة . كجم)[٥٠] . وكانت الرطوبة المتولدة من الأغنام التي على مستوى غذائي منخفض - ولها نفس سمك الصوف - وعند نفس درجة الحرارة والمتنبأ بها من الجدول رقم (١ ,٧) هي ١جم ماء/ (ساعة . كجم) أو تقريبًا نصف الرطوبة المتولدة من الأغنام التي على مستوى تغذية قياسي .

ويعتمد جزء كبير من حمل التدفئة للمبنى والخاص بكل من الحرارة المحسوسة والكامنة على طرق التخلص من الفضلات والماء من المبنى . فسوف يؤدي تبخر الماء داخل المبنى إلى خفض المحتوى الحراري المحسوس للهواء وزيادة المحتوى الحراري الكامن (الرطوبة) . وسوف يبقى الفقد الحراري الكلي للحيوان ثابتًا دون تغيّر . وعامةً سوف يحتوي مبنى عند درجة حرارة أقل من ٢٠ ْم مع أرضية صلبة على ١٠٠٪ زيادة في الرطوبة نتيجة للتبخير من الأرضية عن مبنى ذي أرضية مثقبة عند نفس درجة الحرارة[٨٧] . و يمكن أن يُساهم تبخر الماء في الأجواء الدافئة في خفض درجة حرارة المبني ، بينما يؤدي ذلك إلى زيادة حمل التدفئة المطلوب في الظروف الجوية الباردة .

ويمكن أن تؤثر الأساليب الإدارية المختلفة على معدل الحرارة المفقودة من الحيوان . فقد تمت دراسة تأثير أوقات إضاءة مبنى دجاج بيّاض على الحرارة المفقودة . وقد أوضحت الأبحاث وجود تغيّر طفيف عن متوسط الحرارة المفقودة والموضحة في الجدول رقم (٢ ,٧) . ولكن يمكن خفض الفقد الحراري تقريبًا بنسبة ٢٠٪ أثناء فترة إظلام في نظام ١٤ ساعة إضاءة و١٠ ساعات إظلام (١٤ ض : ١٠ظ) ونظام (٢ض : ٤ظ : ٨ض: ١٠ظ)[٨٨] . وقد وجد أن الحرارة المفقودة أثناء فترة الإظلام كانت أقل بنسبة ٢٥٪ بالنسبة للدجاج الرومي "Wrolstad White"[٣٨]، وأقل بنسبة ٥ إلى ٤٠٪ بالنسبة لـ"Beltsville white" [٨٦] .

وقد أدت عملية التجميع الأولية للدجاج البيّاض إلى وجود انخفاض حاد في الحرارة المفقودة بالإشعاع والتي قد تؤدي في البداية إلى تعرّض الدجاج لإجهاد حراري في الأجواء الدافئة[٨٩] . وقد وجد الباحثون- بعد تأقلم الدجاج في

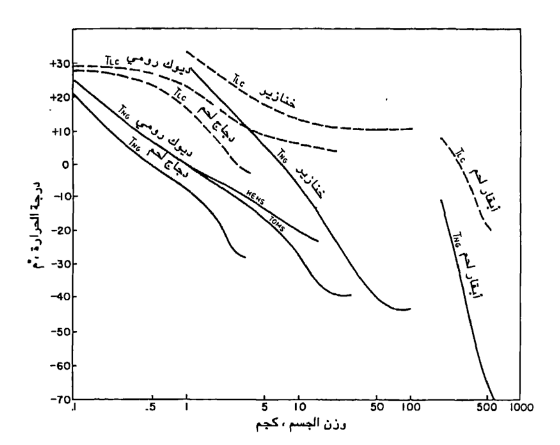
مجموعات- تغيّرات طفيفة للحرارة المفقودة عن البيانات المدوّنة في الجدول رقم (٢ , ٧)[٤٦].

وتتأثر الحرارة المحسوسة المفقودة من الحيوان بدرجة حرارة الأسطح المحيطة مما تسبب تغيّرات في الحرارة المفقودة بكل من الإشعاع والحمل والتوصيل. ويمكن أن ترتفع درجة الحرارة داخل مبنى عن ٢٤ ْم مسببةً إجهاداً حرارياً، ولكن يكون ذلك لفترات محدودة لاتتجاوز عدة ساعات. وقد وجد أن تعرّض الدواجن لتغيّر دوري في درجات الحرارة في المدى من ١٥ إلى ٢٧ ْم لايؤثر تأثيراً جذرياً على معدلات النمو، ولكن قد يزيد من حمل التدفئة المطلوب.

الإنتاجية (Production)

يعتبر مدى درجات الحرارة - حيث كمية الحرارة المحسوسة المفقودة من الحيوان ثابتة - هي المنطقة الحرارية التي عندها يحدث أقصى كفاءة لتحويل الغذاء إلى لحم (المنطقة بين C وD)، كما في الشكل رقم (٢ , ٧). ويستهلك الحيوان غذاء بمعدل أكثر عند درجة حرارة أقل من النقطة C (درجة الحرارة المنخفضة الحرجة)، وذلك للحصول على الطاقة اللازمة للحفاظ على درجة حرارة الجسم ثابتة. و تنخفض عملية تحويل الغذاء إلى لحم تحت درجة الحرارة الحرجة. و تقل كمية الغذاء التي يتناولها الحيوان عند درجة حرارة مرتفعة، وبالتالي ينخفض أيضًا معدل إنتاج اللحم.

لحم (Meat) : تُعرّف درجة الحرارة الحرجة على أنها درجة الحرارة التي عندها يزداد معدل الأيْض الحراري (MHP) ، وذلك للحفاظ على درجة حرارة الجسم ثابتة. وبناءً على ذلك يجب أن لا تنخفض درجة حرارة الوسط المحيط بالحيوان إلى أقل من درجة الحرارة الحرجة، وذلك للحفاظ على كفاءة معدل النمو. وقد تم حساب وتوضيح درجات الحرارة الحرجة لأبقار اللحم والدجاج الرومي والدجاج اللاحم في حالة التغذية الكاملة كما في الشكل رقم (٦ , ٧)[٣٦]. وقد تم أيضًا في هذا الشكل التنبؤ بدرجة الحرارة التي عندها يتم استهلاك كل طاقة الغذاء من أجل المحافظة على درجة حرارة الجسم. وتعتبر الحيوانات حديثة الولادة بوجه عام من أكثر الحيوانات



شكل (٦,٧). درجات الحرارة الحرجة (T_{LC}) ودرجات الحرارة التي لا يحدث عندها زيادة في الوزن (T_{NG}) بالنسبة لحيوانات اللحوم .

تأثراً بدرجة حرارة الوسط. فعلى سبيل المثال، تعتبر درجة الحرارة ٢٩ °م درجة حرارة حرجة للكتاكيت الرومي، و يليها درجة الحرارة ٢٨ °م للكتاكيت. وتعتبر درجة الحرارة ٢٦ °م درجة حرارة حرجة بالنسبة للأغنام المبتلة حديثة الولادة. وتنخفض

هذه الدرجة إلى ١٦ °م في حالة جفاف الجسم الخارجي للغنم (١٠١). وتكون درجة الحرارة للعجل حديث الولادة والذي لايتجاوز عمره ثلاثة أيام ١٣°م. وتنخفض هذه الدرجة بمعدل ٢, °م عن كل يوم زيادة في العمر حتى تصل إلى ١١°م عند عمر ١٠ أيام؛ و٨ °م عند عمر ٢٠ أسبوعًا؛ و٦ °م عند عمر ٣٠ أسبوعًا (٦٠).

وقد وجد أن الكتاكيت التي يتم تربيتها عند درجة حرارة ٣١ أو ٣٥ °م خلال الثلاث أسابيع الأولى تنمو بكفاءة أعلى عن نظائرها التي يتم تربيتها عند ٢٧ °م. ويتم خفض درجات الحرارة بمعدلات منتظمة كل أسبوع حتى تصل درجة الحرارة إلى ٢٤ °م في نهاية الأسبوع الرابع. وقد وجد أن درجة الحرارة الابتدائية في المدى من ٢٧ إلى ٣٥ °م لا تؤثر على الوزن المكتسب للدجاج بنهاية الأسبوع الثامن (١٠٠).

ويوجد لدى الماشية والدواجن درجات حرارة حرجة أقل بكثير من الحيوانات حديثة الولادة. ولايعتبر التحكم في درجة حرارة الوسط في المراحل النهائية من التربية على نفس الدرجة من الأهمية كما في مباني الحيوانات الرضيعة والكتاكيت الصغيرة. فعلى سبيل المثال، نجد أن درجة الحرارة الحرجة المنخفضة لخنزير يزن ٢ كجم ٣٢ °م، وتنخفض إلى ١٠ °م بالنسبة لخنزير يزن ٦٠ كجم. ولايوجد تأثير واضح لدرجة الحرارة الحرجة المنخفضة بالنسبة للأوزان أكبر من ٦٠ كجم. وقد تكون درجة الحرارة الحرجة المحسوبة للأغنام الناضجة ذات سمك صوف ٤٠ م والتي على نظام تغذية متكامل – ٤٠°م (١٠١)، وتقريبًا – ٢٠ °م بالنسبة لأبقار اللحم (٣٦) – اعتمادًا على مستوى طاقة الغذاء – وصفر °م بالنسبة للدواجن (٣٦) و ٥ °م بالنسبة للدجاج الرومي (٣٦).

وقد يؤدي خفض مستوى تغذية الحيوان إلى انخفاض كمية الحرارة المفقودة في منطقة الحياد الحراري، وبالتالي ارتفاع درجة الحرارة الحرجة. فعلى سبيل المثال، تتراوح درجة الحرارة الحرجة للأغنام الصائمة من ٩ °م إلى ٢٥ °م اعتمادًا على سمك الصوف بالمقارنة بدرجة الحرارة – ٤٠ °م المدونة بالنسبة للأغنام التي عند مستوى كامل من التغذية. وقد تُسبب خطة التغذية تغيرًا مقداره ١٠ °م في المدى من ٢٠ °م إلى ١٠ °م بالنسبة لدرجة الحرارة الحرجة لخنزير يزن ٣٥ كجم. وقد حُسبت درجة الحرارة الحرجة للماشية – ١ °م عند مستوى إنتاجي مرتفع و٧ °م عند مستوى تغذية منخفض و ١٨ °م في حالة التصويم (١٠٤).

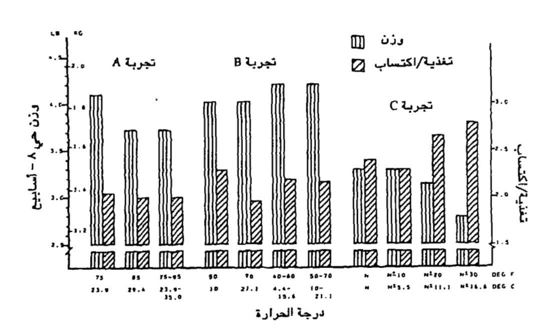
وسوف يؤثر نوع الوسط المادي المتوافر للحيوان على كيفية استجابة الحيوان للوسط الحراري. فنجد أن العجلات التي تُربى في غرف منفصلة لها درجة حرارة حرجة ١٠ ْم [٦٠]، ولكن قد تم تربية تلك العجلات بنجاح عند درجات حرارة أقل من ١٠ ْم [٧١]. وقد وجد أن تجميع الحيوانات في مجموعات قد يؤدي إلى خفض درجة الحرارة الحرجة، كذلك سوف يؤدي منع الحيوان من التكيّف مع الوسط الخاص به إلى جعل الوسط الذي يوفره المهندس أكثر حرجًا.

وسوف تسمح التدفئة بواسطة الأشعة تحت الحمراء بخفض درجة حرارة الهواء مع المحافظة على معدل مرتفع من الإنتاج الحيواني عن طريق توفير حمل تدفئة إشعاعي إضافي، وبالتالي منع فقد الحرارة الزائدة. وسوف يتيح استخدام تدفق إشعاعي ٣٦٠ (واط/ م٢) طاقة كافية لخنازير تزن من ١٠ إلى ٢٠ كجم عند درجة حرارة للوسط ٤ ْم لتنمو بنفس كفاءة الخنازير التي تنمو عند درجة حرارة للوسط ٢١ ْم بدون تدفئة بواسطة الأشعة تحت الحمراء [١٤٠].

ويمكن أن تؤثر فرشة الأرضية أيضًا على مدى استجابة الخنزير للوسط المحيط به. فتتأثر الخنازير التي يتم تربيتها في مبنى ذي واجهة مفتوحة بدون فرشة للأرضية تأثرًا عكسيًا بالنسبة للزيادة الوزنية اليومية، وذلك بالمقارنة بالخنازير التي يتم تربيتها في حالة وجود فرشة للأرضية [١٤١].

ويتم التحكم في درجات حرارة الوسط المرتفعة باستخدام نظام التهوية الذي يعمل على خفض درجة الحرارة الداخلية عدة درجات أقل من درجة الحرارة الخارجية. ويبدو أن أقصى درجة حرارة مقبولة للإنتاج بالنسبة للحيوانات الناضجة ٢٤ ْم. ويعتبر استخدام درجة حرارة أعلى من أقل درجة حرارة حرجة من الأساليب الآمنة بالنسبة لحضانة وتدفئة الحيوانات الرضيعة.

ويمكن أن تزداد درجة الحرارة القصوى على ٢٤ ْم لفترات قصيرة؛ نظرًا لإمكانية حدوث تعويض للنمو بعد تخطي مرحلة الإجهاد الحراري [٩٥]. وقد وجد أن استخدام دورة لدرجة حرارة وسط الخنازير من ١٥ ْم إلى ٢٧ ْم سوف تحافظ على كفاءة الإنتاج الحيواني. ويوضح الشكل رقم (٧,٧) نتائج مماثلة بالنسبة لديوك الدجاج اللاحم.



شكل (٧,٧). تأثيرات درجات الحرارة الثابتة والدورية على النمو وكفاءة تحويل الغذاء لديوك دجاج اللحم. تم تربية فراخ تجارية صغيرة في التجربة A والتجربة B على فرشة أرضية عند درجات حرارة تدفئة طبيعية لمدة ٣ أسابيع، ثم وضعت الفراخ بعد ذلك على درجة الحرارة الثابتة الموضحة أو على درجة حرارة دورية خطية ٢٤ ساعة لمدة ٥ أسابيع. تم أيضًا تربية فراخ غير تجارية على أرضيات شبكية لمدة ٨ أسابيع عند درجات حرارة طبيعية تبدأ من ٣٢ °م، ثم تنخفض بعد ذلك ٣ °م كل أسبوع حتى درجة حرارة نهائية ٢١ °م.

الحليب (Milk) : تكون درجة الحرارة الحرجة المحسوبة بالنسبة للماشية الحلابة في حدود ٢ °م وذلك في حالة جفاف الحليب، وتنخفض هذه الدرجة إلى -٤ °م عند إنتاج حليب بمعدل ١٠ (كجم/ يوم)، و -١٠ °م عند معدل إنتاج حليب ٢٠ (كجم/ يوم)[٢٢٨]. وتم تقدير مدى درجة الحرارة المقبول بالنسبة للماشية الحلابة ما

بين ٤ و٢٤ °م. وينخفض معدل الإنتاج اليومي من الحليب إذا ارتفعت درجة حرارة الوسط إلى مستوى أعلى من ٢٤ °م. وقد تتغير درجات الحرارة سالفة الذكر بعض الشيء بتغير السلالة المستخدمة في التربية.

البيْض (Eggs): تقع درجات الحرارة المقبولة لإنتاج البيض في المدى بين ٧ و٢١ °م[٩٤]. ولكن يجب ملاحظة أن هذا المدى كان بناءً على معدل الإنتاج وليس كفاءة عملية التغذية. وتعتبر درجات حرارة للوسط بين ٢٠ و٣٠ °م أنسب درجات حرارة للحصول على أعلى كفاءة لإنتاج البيض[١٠٢].

التناسل (Reproduction)

سوف تكون المعلومات المقدمة في هذا الجزء مقتصرة على الاستجابة التناسلية لكل من أبقار اللحم والماشية الحلابة والأغنام؛ نظرًا لأن الاستجابات التناسلية للدواجن مرتبطةً بعملية الإنتاج. وتكون عملية التناسل بين ذكور وإناث حيوانات المزرعة حساسة جدًا للزيادة بالحمل الحراري البيئي المفروض على الحيوان. وتوجد أبحاث كثيرة تمت فيها دراسة تأثير البيئة الحرارية على التناسل[١٨٤-١٩٠]. وتتغير الظروف القاسية المفروضة على الحيوانات تغيّرًا جذريًا، وذلك اعتمادًا على كل من درجة حرارة الوسط والرطوبة النسبية وحركة الهواء والإشعاع الحراري وحجم الحيوان و نوع الغطاء الجلدي ومدى التأقلم مع الوسط المحيط به و عوامل أخرى يمكن أن تبدل إما معدل الحرارة المتولدة أو معدل الفقد الحراري.

وقد أوضحت البيانات المرتبطة بنوع السلالة والقطيع تحت نظم تربية وإدارية قياسية كمية المشاكل المفروضة على الحيوان بواسطة الإجهاد الحراري. بينما سجلت التجارب المعملية والمتحكم فيها انخفاض كفاءات التناسل. وقد اختلطت التسجيلات الموسمية الخاصة بالماشية الحلابة والأغنام بالنسبة للتأثيرات الناجمة عن تغيّرات طول النهار على التناسل.

وقد شاركت التغيّرات الموسمية جوهريًا في التأثير على كفاءة التناسل نتيجةً للإجهاد الحراري في الأجواء الدافئة، أو نتيجةً لتغيّر طول النهار في مناخات المناطق

الشمالية [١٩٢، ١٩٣، ١٩٤]. وقد أوضحت معظم الدراسات [١٩٥-١٩٩] انخفاض معدل التناسل في الماشية في الفترة الحارة من العام. وقد وجد (Scott)[195] في ولاية أريزونا أن كفاءة التناسل تنخفض بمعدل ٢, ١١٪ و ٨, ١٦٪ بالنسبة للجيرسي والهولستين على الترتيب خلال الفترة من مايو إلى أغسطس. وقد وجدت تحسينات - ١٠٠٪ زيادة في عدد البقرات الحوامل - في الصيف، وذلك بتوفير مظلة تبريد صناعي تعمل على خفض الإجهاد الحراري على الحيوانات [١٩٧، ٢٠٠].

وقد أوضحت تسجيلات عن سلالات الأغنام وجود تأثير موسمي على كفاءة التناسل [١٨٧، ٢٠١-٢٠٣]. بينما يُعزى بقدر كبير انخفاض كفاءة التناسل الموسمية إلى عدد الدورات المضيئة، كما يبدو أيضًا وجود دور مهم لدرجة حرارة الوسط.

وبينما أوضحت دراسات عديدة وجود انخفاضات حادة في أداء التناسل مع درجة حرارة الجو، إلا أنه يمكن طرح بعض الأسئلة الجوهرية كالتالي: (أ) ما هو حجم الإجهاد الحراري الذي يمكن ربطه كميًا بانخفاض كفاءة التناسل؟ (ب)هل هناك فترات حرجة سواء قبل أو أثناء أو بعد الحمل عندما يكون للإجهاد الحراري تأثير واضح على التناسل عن أي فترات أخرى؟ (جـ) ماهي الآليات الفسيولوجية المسئولة عن انخفاض كفاءة التناسل؟ وقد قدم (Roller and Stombaugh)[204] إجابات لتلك الأسئلة، أولاً بالنسبة للأنثى، ثم بعد ذلك بالنسبة للذكر.

أنثى (Female) : تتفاعل الأنثى مع الظروف البيئية الحارة والرطبة عن طريق زيادة درجة حرارة الجسم وزيادة معدل التنفس وخفض كمية الغذاء والسُبات بما يتناسب مع مدى حدة الوسط الحراري المفروض. وتؤثر تلك البيئات أيضًا على أداء التناسل والذي يبدو أيضًا أنه يتناسب مع حدة الوسط الحراري وفترة التعرض لتلك الظروف.

وقد تم تعريض نعاج الميرينو في إحدى الدراسات [٢٠٥] إلى إجهاد حراري أثناء الأسبوعين الأولين من الحمل. وقد وجد أن معدلات نفوق الأجنة كانت ٨٣٪ و٣٣٪ و١٩٪ عندما ارتفعت درجة حرارة المستقيم إلى: (أ) ٧, ١°م لمدة ٢٤ ساعة أو (ب) ٧, ١°م في النهار - ولكن انخفضت إلى المستوى الطبيعي في الليل - أو (جـ) كانت عند المستويات الطبيعية. ولم تتأثر النعاج ذات الصوف المجزوز بشدة مثل

النعاج غير المجزوزة الصوف.

وقد وجد بالنسبة لإناث أبقار اللحم تأثر استجابات التناسل بمدى التأقلم مع الوسط[٢٠٧]. ولم يحدث للحيوانات المتأقلمة مع الجو البارد أي إثارة جنسية عند تعرضها لإجهاد حراري متوسط (٣٢ ْم)، بينما لم تتأثر الحيوانات المتأقلمة على الجو الحار بذلك. ولم يحدث للحيوانات المتأقلمة على الجو الحار أيضًا أي إثارة جنسية عند تعرضها لمستوى مرتفع من الإجهاد الحراري (٣٩ ْم).

وبينما يكون فشل التناسل راجعًا إلى ظاهرة "الكل أو لاشيء" بالنسبة لحيوان فردي، إلا أن درجة الفشل في قطيع تتناسب مع حدة الإجهاد الحراري. ونتيجة لذلك، فإن درجة الملاءمة الحرارية – والتي يمكن أن يتحصل عليها بواسطة خطة تحكم بيئية محددة – يجب أن تزداد بما يتناسب مع أداء التناسل. فعلى سبيل المثال وكقاعدة عامة، قد يؤدي خفض درجة حرارة الجو من ٤٠ إلى ٣٠ ْم إلى زيادة كفاءة التناسل تقريبًا ضعف مما لو خُفضت درجة الحرارة من ٤٠ إلى ٣٥ ْم. وبالطبع يمكن تطبيق ذلك فقط على الظروف البيئية التي تفرض إجهادًا حراريًا جوهريًا – الموضحة بزيادة درجات حرارة المستقيم– على الحيوان.

ونظراً لأن التعرض لموجات حرارية معتدلة قد تكون في طبيعتها دورية، إلا أنه من المهم أيضًا تقدير التأثير الكمي لتلك التعرضات الحرارية الدورية. وقد أوضحت دراسات على النعاج[٢٠٥,٢١٣,٢١٤]– وإن كانت غير نهائية– أن أداء التناسل أثناء درجة إجهاد حراري يكون مماثلاً للأداء عند درجة حرارة ثابتة للوسط، وتقع في منتصف المسافة بين القيم المتطرفة للدورة – على الأقل في مكان حيث سعة الموجة لا تكون أكبر من ١٠ ْم.

وقد أوضحت دراسات عن اختبارات الفترات الحرجة للتناسل بالنسبة للأغنام أن زيادة فترة التعرض لموجات حرارية قد تقلل من أداء التناسل[٢١٦,٢١٧]، كما أوضحت أن زيادة فترة التبريد الصناعي للماشية الحلابة قد نتج عنها زيادة في كفاءة التوليد. وغالبًا يمكن نسب تلك النتائج إلى زيادة أعداد فترات التناسل الحرجة والتي من خلالها تمتد فترة التعرض للإجهادات.

وقد كُرِّس جهد يُؤخذ في الاعتبار لإيجاد مُدَة - قصيرة، "مفتاح" الفترة الحرجة لإفساد الإجهاد الحراري أثناء عملية التناسل للحيوانات المزرعية. فإذا أمكن فصل فترة قصيرة، فإن طريقة مُدَّةٌ-قصيرة للتخلص من الإجهاد الحراري قد تكون اقتصاديًا جذابة للغاية. وقد أوضح عديد من الباحثين أن الفترة تتبع مباشرة عملية الولادة، ويمكن تصنيفها من هذا المنطلق كفترة حرجة. ولكن، قد أوضح برهان جلي أنه توجد فترات أخرى عديدة أثناء فترات التناسل يمكن أيضًا أن تلعب دوراً مهمًا للغاية لايمكن إهماله، وذلك إذا تطلب الأمر عمل تحسينات جذرية لزيادة كفاءة التناسل.

ويوجد عدد من الفترات الحرجة عندما يكون تناسل الأنثى يتأثر عكسيًا بالإجهاد الحراري. ونتيجةً لذلك، فلابد - من وجهة النظر الاقتصادية - إعطاء الوسط الحراري بعض الاعتبار في فترة تمتد على الأقل من بداية الدورة النزوية إلى ما قبل الولادة خلال المخاض.

ولم تترسخ إلى الآن الآليات الفسيولوجية والمسؤولة عن انخفاض كفاءة التناسل في الأنثى، حيث توجد وبدون شك آليات مختلفة متضمنةً في أطوار عديدة لدورة التاسل. وتتضمن الآليات الممكنة، ولكن قد لاتكون مقيدة، الآتي:

١- تأثير مباشر ناتج من زيادة درجة حرارة الجسم.

٢- غير مباشر، التأثير الغذائي الناتج من خفض معدل الغذاء المتناول أثناء الإجهاد الحراري.

٣- انخفاض تزويد المواد الغذائية إلى الجنين نتيجةً إما لتحول الدم من جوف الجسم إلى سطح الجلد أو لخفض إنتاج البروتين.

٤- تأثيرات كيميائية حيوية مثل تغير الدالة الأيْضية أو النشاط الإنزيمي.

ذكر (Male) : تمر الأحياء المَنَوِيّة خلال عدد من المراحل أثناء وبعد التشكيل في الاختبارات. وعادة تتطلب تلك العملية عدة أسابيع للاكتمال قبل القذف في ماءُ التذكير. فعلى سبيل المثال، قد تستمر هذه العملية ٤٠ يومًا(٢١٩)، وقد يكون لعوامل مثل نوعية الغذاء والأمراض والإجهاد الحراري تأثير عكسي على عملية النضج،

والتي يمكن بدورها أن تؤثر على الخصوبة .

وقــد قَــدّم (Christenson and Roller et al.)[215] تأثيرات الإجهاد الحراري الحاد على جــودة مــاءُ التــذكـيــر والخـصـوبة . فـقــد بُدىء بتــجــمــيع مـاء ذكـورة هلّوف مرتين-أسبوعيًا ولمدة ثلاثة أسابيع قبل التعرض للتقييم المعملي . وقد استخدم ماءُ التذكير في عملية تعشير صناعية تبدأ تقريبًا أسبوعين قبل التعرض للمعاملة . وقد استـخـدمت تلك المعلومات كـمؤشـر لجودة وخصوبة مـاءُ التـذكير قبل الإجـهـاد الحراري . ولم يتم تجميع ماءُ التذكير أثناء التعرض للحرارة لمدة ٧٢ ساعة ، ولكن تم الاستمرار في عملية التجميع مرتين-أسبوعيًا بعد المعاملة لمدة حوالي ٧٠ يومًا . وقد تأخر ظهور التأثير الحراري على جودة ماءُ التذكير ، ولكن انخفضت الجودة . وقد ظهر أول دليل للإجهاد الحراري بعد حوالي ١٥ إلى ٢٠ يومًا من المعاملة في صورة انحدار في معدلات حركة الأحياء المَنَوّية وزيادة أعداد الأحياء المنويّة الشاذة . وقد استمرت جودة ماءُ التذكير في الانحدار ، وقد ظهر انخفاض مرئي في أعداد الأحياء المنويّة والتي ثابرت حتى ٥٠ يومًا بعد المعاملة . وقد بدأ – بناءً على تقييم ماءُ التذكير – الرجوع التدريجي إلى الحالة الطبيعية بعد حوالي ٥٥ إلى ٦٥ يومًا من المعاملة .

وقد وازَى تأثير الإجهاد الحراري على ماء التذكير – كما تم قياسه بواسطة أداء التناسل في التعشير الصناعي – جودة ماء التذكير المقاسة . وقد اعتبر معدل الحمل وبقاء الجنين طبيعيًا في كل الحيوانات التي تم تعشيرها بماء تذكير بعد ١٥ يومًا من المعاملة. وقد انخفضت بوضوح نسبة الحيوانات الحوامل نتيجةً للتعشير بماء تذكير بعد ١٦ إلى ٥٧ يومًا من تعريضه إلى إجهاد حراري. وقد كانت نسبة الانخفاض من ٢٠ إلى ٤٠٪. وقد اختفى تأثير الإجهاد الحراري على جودة ماء التذكير بعد حوالي ٦٠ يومًا من المعاملة. وقد أوضح (McNitt et al.)[220] انخفاضات مماثلة في جودة ماء التذكير كنتيجة لتعرض الحيوانات لدرجة حرارة ٤٠ ْم ولمدة ٧٢ ساعة .

وقد تم الحصول على انخفاضات مماثلة في جودة ماء التذكير الخاصة بكباش ضأن غير مجزوزة الصوف بعد تعرضها لدرجة حرارة جافة ٣٢ ْم ولمدة أسبوع[٢٢١] . ومع أن حجم ماء التذكير لم ينخفض جذريًا ، إلا أن حركة الأحياء المنويّة ونسبة الخلايا الشاذة وتركيز خلايا ماء التذكير قد تأثرت عكسيًا . وقد أصبحت هذه

التأثيرات واضحة في الأسبوع الخامس، ثم تراجعت إلى الحالة الطبيعية في الأسبوعين السابع والثامن التابعين للتعرض للإجهاد الحراري. وقد أوضحت دراسات أخرى(٢٢٢-٢٢٤) أن الإجهاد الحراري الواقع على الكبش لم يؤثر فقط على القياسات المرئية المجهرية لجودة ماء التذكير، ولكن قد أثر أيضًا على الخصوبة في النعجة والشهوة الجنسية عند الكبش تحت ظروف تزاوجية حيوانية عملية.

وقد لوحظ وجود انخفاضات في كل من جودة ماء التذكير وأداء التناسل في الماشية(١٩٩). وعامةً، قد تُسبب زيادة درجة حرارة الخصية انخفاضًا في معدل تكون المنيّ مع ارتفاع لحظي في المحتوى السكري الأولي لماء التذكير، وخفض في حركة الأحياء المنويّة وكثافة ماء التذكير وعدِّ المنيّ الكلي (١٩٩، ٢٢٥).

خلاصة أداء التناسل (Summary of Reproductive Performance) : من الواضح من هذه النتائج أن إجهاد فترة-قصيرة من الحرارة المرتفعة على الذكور يكون له تأثير محدد على القياسات المرئية المجهرية بالنسبة لجودة ماء التذكير مثلها مثل خصوبة ماء التذكير المستخدم في التعشير الصناعي. ولم تحدث التأثيرات العكسية في وقتها، ولكن كانت واضحة بعد حوالي من ٢ إلى ٤ أسابيع من التعرض للإجهاد، مع العودة التدريجية إلى الحالة الطبيعية بعد حوالي ثمانية أسابيع من التعرض للإجهاد. وقد يبدو منطقيًا أن التعرضات التكرارية والعشوائية والمتولدة من مستويات مرتفعة من الإجهاد الحراري قد تسبب أن يكون الذكور باستمرار عند مستويات كفاءة إنتاج أقل من المثلى.

ويقترح للحصول على زيادة اقتصادية في كفاءة التناسل إجراء تطوير لبيئة الذكور. ويتم ذلك عن طريق تبريد الوسط المحيط بعدد صغير نسبيًا من الذكور. ولم يُبرر اقتصاديًا استخدام تطوير تقني مرتفع للوسط الخاص بولادات الإناث، باستثناء عند إنتاج سلالات ماشية عريقة في أجواء دافئة. ولكن، قد يكون من الأرجح استخدام بدائل ذات تكلفة منخفضة مثل المظلات والتبريد الرذاذي والتبريد التبخيري لحماية الإناث من الإجهاد الحراري مع إمكانية تبرير ذلك اقتصاديًا.

تأثيرات الرطوبة

(EFFECTS OF HUMIDITY)

يؤثر المحتوى الرطوبي للوسط تأثيراً مباشراً على الحرارة الكامنة المفقودة من الحيوان، كما أن له تأثيره المباشر أيضًا عند درجات حرارة مرتفعة على الحرارة المحسوسة المفقودة من الحيوان. وسوف يؤثر المحتوى الرطوبي أيضًا بطريقة غير مباشرة على أداء الحيوانات، وذلك بالتأثير على جودة الهواء من خلال تراكيز الأتربة والأمراض. ولكن، وُجدت مستندات قليلة تربط العلاقة بين الرطوبة وتركيز الجسيمات الدقيقة أو الأمراض.

الفواقد الحرارية من الحيوان (Animal Heat Losses)

توجد دراسات عديدة عن تأثير الرطوبة على الفقد الحراري بالنسبة لأجناس مختلفة من الحيوانات. فقد وجد أن ارتفاع الرطوبة النسبية من ٤٠ إلى ٩٠٪ بالنسبة للدجاج البيّاض عند درجة حرارة من ٣٠ إلى ٣٥ °م قد أدى إلى انخفاض في الحرارة المفقودة بالتبخير من أجهزة التنفس بمقدار ٧٧٪ [١٠٣]. وقد أدى ذلك إلى انخفاض مقدرة الدجاج البيّاض على تسريب الحرارة الكلية المفقودة بنسبة ١٥٪ عند درجة حرارة ٣٥ °م و ٧٪ عند درجة حرارة ٣٠ °م. وقد أدت في الحقيقة زيادة الرطوبة النسبية من ٥٥٪ إلى ٨٨٪ عند درجة حرارة ٢٠ °م إلى زيادة في الحرارة الكلية المتولدة من الدواجن ٣٪، وملازمة لانخفاض ٢٥٪ في الحرارة المفقودة بالتبخير مع التنفس [١٠٣]. ويتوقع عدم وجود فواقد إنتاجية عند درجة حرارة ٢٠ °م راجعة إلى الرطوبة النسبية. وعلى ذلك فإنه يوصى بالمحافظة على رطوبة نسبية لاتزيد على ٦٠٪ في بيوت الدواجن.

وقد نتج عن تأقلم الطائر مع درجة حرارة للجو ٣٥ °م – بعدما كانت درجة حرارة ٢٥ °م – انخفاض في الفقد الحراري التبخيري في تسعة أيام من ٢,٣ (جم ماء/ ساعة. كجم) إلى ١,٩ (جم ماء/ ساعة. كجم) [١٠٣] أو بنسبة ١٧٪. وقد نتج أيضًا انخفاض في ١١ أسبوعًا من ٧ (جم ماء/ ساعة. كجم) إلى ٢,٦ (جم

ماء/ ساعة. كجم)[٤٥] أو بنسبة ٦٦٪. وتبدو قيم الحرارة الكامنة والمدوّنة في الجدول رقم (٢ , ٧) بالنسبة لدجاج اللَّجْرَن الأبيض (٣,٨ جم ماء/ ساعة. كجم) ذات تقريب جيد للتصميم عند درجات حرارة مرتفعة للجو. ولكن يجب ملاحظة أن حمل الرطوبة قد يتجاوز قيّم الرطوبة الموجودة في الجدول رقم (٢ , ٧) أثناء الإيواء الابتدائي للدجاج البيّاض.

وقد نتج عن زيادة الرطوبة النسبية من ٥١٪ إلى ٧٦٪ – عند درجة حرارة ٢٥ °م بالنسبة للأغنام ذات سمك صوف من ٦ إلى ٧ سم – انخفاض في الرطوبة المتولدة من ٥ , ٢ إلى ٠ , ١ (جم ماء/ ساعة. كجم) أو ٦٠٪، وذلك باستخدام قياسات المسْعَر[٥٠]. وقد أوضحت نفس التجارب بالنسبة للأغنام المجزوزة الصوف انخفاضًا أقل للرطوبة المتولدة من ٦ , ٢ إلى ٧ , ١ (جم ماء/ ساعة. كجم) عند زيادة الرطوبة النسبية بمقدار ٥٠٪.

ولم يلاحظ وجود أي فروق معنوية إحصائية تذكر بالنسبة للفقد الحراري الكلي والفقد الحراري التبخيري بالنسبة للماشية المعرّضة لدرجة حرارة جافة ٣٥ °م مع تغيّر في الرطوبة النسبية من ٣٢ إلى ٧٢٪[١١٣]، وإن كانت زيادة الرطوبة قد أدت إلى خفض الحرارة المفقودة بالتبخير بنسبة ١٥٪. وقد أدى هذا الانخفاض إلى زيادة الحرارة المحسوسة المفقودة بنسبة ٥٠٪ نتيجة لارتفاع درجة حرارة جسم الحيوان.

الإنتاجية (Production)

تؤدي زيادة الرطوبة إلى خفض معدل الإنتاج فقط إذا كانت درجات الحرارة مرتفعة. وعامة يمكن القول إن التغيّر في الرطوبة لا يؤثر على نمو الحيوان عند درجات حرارة أقل من ٢٤ °م.

اللحم (Meat) : وجدت دراسة وحيدة تعاملت بشيء من التفصيل مع تأثير الرطوبة على أداء الدجاج اللاحم[١١٢]. ولم تتأثر الديوك من عمر خمسة أسابيع حتى عمر عشرة أسابيع عند درجة حرارة للوسط ٢١ °م بالرطوبة النسبية في المدى من ٤٨٪ إلى ٩٠٪. وقد أدى تغيّر في الرطوبة النسبية من ٤٠٪ إلى ٩٣٪ عند درجة

حرارة للوسط ٢٧ °م إلى زيادة مفضلة ٢ ٪ في الوزن عند نهاية الأسبوع العاشر، مع عدم تغيّر نسبة تحويل الغذاء. وقد نتج عن زيادة الرطوبة النسبية من ٣٠٪ إلى ٩٠٪ عند درجة حرارة للوسط ٣٥ °م انخفاض عكسي في الوزن في نهاية الأسبوع العاشر بنسبة ١٥٪ وزيادة ١٣٪ في كمية الغذاء المطلوبة لكل وحدة زيادة وزنية[١١٢]. وتتوافق تلك النتائج مع الانخفاض في الفقد الحراري المتنبأ به ومقداره ١٥٪[١٠٣].

ويبدو أن الرطوبات المرتفعة مفضلة بالنسبة للحصول على نمو ونسبة تحويل غذاء أفضل أثناء طور حضانة الدجاج اللاحم عند درجة حرارة للوسط ٣٢,٢ °م، ثم تُخفض أسبوعيًا ٢,٧ °م حتى تصل إلى ١٨,٣ °م. وعلى ذلك، فلا تؤخذ الرطوبة المرتفعة في الاعتبار عند درجات الحرارة الموصى بها بالنسبة للإيواء الإنتاجي للدجاج اللاحم. ولكن يوصى بأن يكون المدى الواجب استخدامه بالنسبة للرطوبة النسبية من ٦٠ إلى ٨٠ ٪ أثناء فترة الحضانة، ومن ٥٠ إلى ٧٠ ٪ بعد ذلك للنمو[١١٢].

ويبدو أنه لم تتم دراسة تأثير الرطوبة على نمو الأغنام. ولكن تمت دراسة الاستجابة الفسيولوجية للأغنام بالنسبة لمستويات مختلفة من درجات الحرارة-رطوبة نسبية، والتي تُزيد الإدراك بوجود تأثير للرطوبة على الأغنام. وقد لوحظ عدم وجود أي تغيّر جوهري في درجة حرارة جسم الأغنام عند درجة حرارة للوسط أقل من ٣٨ °م. وقد ارتفع معدل التنفس عن الطبيعي عندما تم الحصول على التوليفات التالية من درجة الحرارة-رطوبة نسبية: ٢٩ °م-٩٥٪ و٣٢ °م-٧٥٪ و٣٥ °م-٣٥٪[١١٨]. وعلى ذلك يمكن اعتبار تلك التوليفات حدودًا قصوى لإنتاج الأغنام.

وقد نتج عن زيادة الرطوبة النسبية بالنسبة للماشية من ٤٥٪ إلى ٧٢٪ عند درجة حرارة للهواء ٣٥ °م زيادة ٦٠٪ في معدل التنفس من ١١٠ إلى ١٦٠ نفس/ دقيقة[١١٣]. ويُقترح بالنسبة للماشية استخدام مؤشر درجة حرارة جافة-رطبة بحيث يزن ٦٥ ٪ لدرجة الحرارة الرطبة و٣٥ ٪ لدرجة الحرارة الجافة[١١٤].

الحليب (Milk) : لم تؤثر التغيّرات في رطوبة الهواء عند درجات حرارة للوسط أقل من ٢٥ °م على معدلات إنتاج الحليب. وقد أمكن تطوير المعادلة التالية [١١٩] للتنبؤ بالانخفاض في معدل إنتاج حليب أبقار الهولستين كدالة في كل من درجات الحرارة الجافة والرطبة.

$$AD = 1.365 + NL(1.937 - 0.07036\, T_{db} - 0.10712 T_{wb} + 0.00415\, T_{db}\, T_{wb}) \quad (٧ , ١٥)$$

حيث:

AD : الانحدار المطلق في إنتاج الحليب، كجم/ (يوم. بقرة)

NL : معدل الإنتاج الطبيعي، كجم/ يوم

T_{db} : درجة حرارة الهواء الجافة، °م

T_{wb} : درجة حرارة الهواء الرطبة، °م .

وقد وُجد أيضًا أن استخدام مؤشر حرارة–رطوبة (THI) – والذي قد طُوِّر للتنبؤ براحة الإنسان[١٢٠] – كان ملائمًا للتنبؤ بفواقد الإنتاج. ويزن مؤشر (THI) بالتساوي كلاً من درجات الحرارة الرطبة والجافة. وقد وُجد أن المعادلة يمكن أن تأخذ الشكل التالي:

$$THI = 0.72(T_{db} + T_{wb}) + 40.6 \quad (٧ , ١٦)$$

وقد كان الانحدار المطلق:

$$AD = 1.075 - 1.736\, NL + 0.2474\, (NL)(THI) \quad (٧ , ١٧)$$

البيْض (Eggs) : تم التنبؤ بتوليفات حدود قصوى من درجة الحرارة–رطوبة بحيث يحدث انخفاض في إنتاج البيض إذا تم تجاوز حدود تلك التوليفات، وذلك بدون الالتفات إلى الاتزان الغذائي. وتكون تلك التوليفات كالتالي: ٢٨ °م –٧٥٪ أو ٣١ °م–٥٠٪ أو ٣٣ °م–٣٠٪. وقد نتج عن خفض نسبة الرطوبة من ٩٥ إلى ٣٥٪ عند درجة حرارة للوسط ٣٥ °م انخفاض في درجة حرارة جسم الطائر[١٢٢].

تأثيرات سرعة الهواء

(EFFECTS OF AIR VELOCITY)

تعتبر سرعة الهواء من العوامل المؤثرة على معدل الحرارة المحسوسة المفقودة من الحيوان. فتقلل زيادة سرعة الهواء من درجة حرارة الوسط عن درجة حرارة سطح جسم الحيوان، مما يُزيد من معدل الفقد الحراري المحسوس من الحيوان. وتعتبر هذه الزيادة مرغوبة في الصيف، بينما يجب خفضها في الشتاء. وسوف تعمل زيادة سرعة الهواء على زحزحة درجة الحرارة الحرجة إلى مستويات أعلى. ويعتمد مقدار الزيادة في درجة الحرارة الحرجة على مدى كبَر سرعة الهواء. وسوف يزداد الحمل الحراري المحسوس والواقع على الحيوان بزيادة سرعة الهواء، وذلك عندما تكون درجة حرارة الهواء أعلى من درجة حرارة سطح جسم الحيوان.

وتؤدي زيادة سرعة الهواء أيضًا إلى زيادة معدل فقد الحرارة الكامنة من الحيوان. وتتوقف كمية الحرارة الكامنة المفقودة من الحيوان على فرق ضغط بخار الماء بين سطح جلد الحيوان والهواء. كما أن زيادة سرعة الهواء داخل المبنى تزيد من تبخر الماء من على الأسطح الداخلية للمبنى، مما يؤدي إلى زيادة تأثير التبريد التبخيري داخل المبنى. ويعتبر التبريد بالتبخير ميزة في الصيف، بينما تؤدي زيادة السرعة إلى زيادة حمل التدفئة في الشتاء.

فواقد الحيوان الحرارية (Animal Heat Losses)

تُسبب زيادة سرعة الهواء من ٢,٠ (م/ث) إلى ٥,٤ (م/ث) في حظيرة ماشية عند درجة حرارة – ٧ °م زيادة حمل التدفئة الكلي حوالي ٢٥٪. ولكن لوحظ وجود تغيّر بسيط في حمل التدفئة إذا حدثت الزيادة في سرعة الهواء في مبنى عند درجة حرارة ١٨ °م[٢٢٦]. وقد وجد أيضًا تغيّر بسيط جدًا بالنسبة للحرارة المحسوسة والمفقودة عند درجات حرارة للجو أعلى من ١٨ °م مع تغيّر سرعة الهواء من ٢,٠ (م/ث) إلى ٤ (م/ث). وقد تحدث زيادة حوالي ٤٠٪ في الحرارة المحسوسة المفقودة عند درجات حرارة داخلية في المدى من – ٤ °م إلى – ٩ °م.

وقد كانت الحرارة المتولدة من اثنين من الأغنام زنة كل واحد منهما ٦٠ كجم تعتمد على كل من سرعة الهواء وسمك الصوف[١٤٣]. ولم يتزايد الإنتاج الحراري لحيوان ذي سمك للصوف من ٤ إلى ٥ سم عند ٥°م إلى أن وصلت سرعة الهواء ٩ , ١ (م/ ث). وقد زاد الإنتاج الحراري لحيوان ذي سمك صوف ٢ سم أو أقل على الفور مع زيادة سرعة الهواء؛ نظراً لأن درجة الحرارة الحرجة المنخفضة كانت أعلى، والتي تعني الاحتياج إلى زيادة الإنتاج الحراري للحيوان مع تغيّر سرعة الهواء. وتتأثر الحيوانات الصائمة بمعدل أسرع للتغيّرات في سرعة الهواء عند درجات حرارة منخفضة عن الحيوانات التي على نظام تغذية كامل.

الإنتاجية (Production)

تعمل زيادة سرعة الهواء على تكبير المدى من درجات الحرارة المرتفعة، والذي من خلاله يُحافظ الحيوان على مستوى الإنتاج. ولكن قد تؤدي زيادة سرعة الهواء عند درجات حرارة منخفضة إلى حدوث تأثير ضار على الإنتاج.

لحم (Meat) : وجدت مع زيادة سرعة الهواء من ١ , ٠ (م/ ث) إلى ٧ , ٢ (م/ ث) زيادة في معدل الوزن المكتسب بالنسبة للدجاج اللاحم، من عمر ثلاثة أسابيع حتى عمر ثمانية أسابيع، والتي تمت تربيتها في وسط حار مع دورة درجة حرارة ٢٤-ساعة من ٢١°م حتى ٣٦°م. وقد بدا أن المعدل المكتسب كان دالة على الجذر التربيعي لسرعة الهواء. وقد اكتسب الدجاج من ٥٠ إلى ١٠٠ (جم/ أسبوع) زيادة أكثر عند التعرض لسرعات هواء مرتفعة عن الدجاج الذي تعرض لسرعة هواء ١ , ٠ (م/ ث). ولم يلاحظ أي فرق جوهري في كفاءة تحويل الغذاء[١٢٤]. وقد كان هذا العمل الأساس لدراسة أجريت مؤخراً، والتي أوضحت أن الدجاج عند درجة حرارة ثابتة للوسط ٤٠°م كان قادراً على المحافظة على درجة حرارة ثابتة للجسم، وذلك إذا تم توفير سرعة للهواء ٥ , ٢ (م/ ث). ولكن وجدت زيادة في الحرارة المتولدة عن الفقد الحراري في وسط حيث سرعة الهواء تتراوح من ٠١ , ٠ إلى ٢ , ٠(م/ ث)[١٢٥]. ومن المهم ملاحظة أن زيادة سرعة الهواء عند درجة حرارة للوسط أعلى من ٤٠°م قد تسبب زيادة في الحمل الحراري الواقع على الدجاج[١٢٦].

وقد عانى جنس من فراريج الهمبشيري الجديدة في ولاية كاليفورنيا من انخفاض معدل الوزن المكتسب ٥٪ عندما ازدادت سرعة الهواء من ٢ , ٠(م/ ث) إلى ١ , ٠(م/ ث) أو ٥ , ١ (م/ ث) أو ٢ , ٠(م/ ث) في أوساط طبيعية متغيرة مع متوسطات درجات حرارة ١٢ ْم و١٩ ْم و٢٣ ْم[١٢٧] . ولم يلاحظ أي تغيّر في كفاءة تحويل الغذاء للفراريج . وقد خَلُصَ الباحثون إلى أنه نظراً لعدم حدوث أي تغيّر في معدل الاكتساب عند سرعات من ٢ , ٠(م/ ث) إلى ١ , ٠ (م/ ث) بالنسبة للطيور عند عمر من ٢ إلى ١٠ أسابيع، فإن "تيارات الهواء التي من الطبيعي أن توجد في بيوت حضانة الدواجن ليس لها تأثير جذري على الفراريج بعد عمر أسبوعين" . ولم توجد أبحاث حتى الآن تهتم بدراسة تأثير سرعة الهواء على الفراريج عند عمر أصغر من أسبوعين .

وقد تحسنت الزيادات الوزنية لماشية اللحم بنسبة من ٢٨٪ إلى ٨٠٪ عند زيادة حركة الهواء من ٣ , ٠(م/ ث) إلى ٦ , ١ (م/ ث) مع متوسط لدرجة حرارة الهواء ٣١ ْم، وذلك أثناء اختبارات فصلي صيف في الوادي الأمبراطوري بولاية كاليفورنيا[١٢٨] . ولكن لم يلاحظ أي ميزة للماشية عند تزويدها بمظلة في وسط ذي درجة حرارة ٣٢ ْم، وذلك مع زيادة سرعة الهواء من ١ , ١ (م/ ث) حتى ٤ , ٢ (م/ ث) أو ٦ , ٢ (م/ ث).

الحليب (Milk) : دُوِّنت في دراسة وحيدة[١٣٠] تأثير سرعة الهواء على أداء الماشية الحلابة . وقد وجد أن زيادة سرعة الهواء من ٢ , ٠ (م/ ث) إلى ٢ , ٢ (م/ ث) قد أدت إلى خفض الإجهاد الحراري في وسط ذي درجات حرارة تتراوح من ٢٤ ْم إلى ٣٥ ْم .

البيْض (Eggs) : أوضحت إحدى الدراسات أن زيادة حركة الهواء من ٣ , ٢ (م/ ث) إلى ٨ , ٠ (م/ ث) مع درجة حرارة تقع مابين ٢٦ و٣٥ ْم وعند رطوبة نسبية ٤٠٪ قد أدت إلى منفعة زهيدة في أداء الدجاج البيّاض من حيث وزن البيضة ومقاومة القشرة للكسر[١٢٢] .

تأثيرات مُلوّثات الهواء

(EFFECTS OF AIR CONTAMINANTS)

تعتمد أقل معدلات التهوية داخل مباني الإنتاج الحيواني والدواجن أساسًا على التخلص من رطوبة الهواء (انظر فصل ٨). ويستخدم بعض المنتجين والمصممين في بعض الأحيان معدلات تهوية أقل من الحد الأدنى، وذلك لتقليل جزء من الطاقة الحرارية المفقودة مع هواء التهوية والتوفير في الوقود المستخدم في التدفئة، وبالتالي تقليل تكلفة الإنتاج. ولكن قد يُزيد خفض معدل التهوية عن الحد الأدنى الموصى به من تركيز مُلوّثات الهواء داخل المبنى.

والمُلوّثات الهوائية داخل مباني الإنتاج الحيواني عبارة عن غازات وجسيمات المواد والتي تشكل البيئة الكيميائية، وذلك في مقابل البيئة الحرارية[١٤٥]. وتتولد الملوثات الغازية من ثانى أكسيد الكربون (Co_2) وتولد (Co_2) من الحيوانات المجترة والميثان (Ch_4) من تحلّلات فضلات الحيوان. كما يتولد عن التحللات الحيوية للفضلات غاز الأمونيا (NH_3) وغاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، وذلك بالإضافة إلى (Ch_4) و Co_2. ويتولد أيضًا الماء (H_2O) من الحيوان ومن الفضلات.

وتوجد غازات تتبعية أخرى تتشكل أثناء تحلل مخلفات الحيوان مثل الأمينيات والأميدات والكحوليات والألديهيدات والكيتونيات والمركبتانيات والديسالفيدات وكبريتيدات الكربونيل والأحماض الدهنية. ونظراً لأن هذه الغازات التتبعية تكون موجودة بكميات صغيرة جدًا أو تافهة، فإنهم لا يأخذون في اعتبارهم أنهم يُحدون طبيعيًا من إنتاجية حيوانات المزرعة.

وتتكون مواد الجسيمات المتطايرة أساسًا من نواتج الفضلات الغذائية ومن على أسطح أجسام الحيوانات والدواجن. وتُقسم الجسيمات التي يزيد حجمها على ميكرون واحد على أنها أتربة، في حين تقسم الجسيمات الأقل من ذلك على أنها أبخرة.

ولابد عند تقييم جودة الوسط الكيميائي من التعرف على التفاعل بين الإنسان والحيوان بالنسبة للأتربة والأبخرة وكبريتيدات الهيدروجين والأمونيا والميثان وثاني

أكسيد الكربون. ولابد عند التحكم في جودة الوسط الكيميائي من معرفة معدل تولد تلك الغازات.

ويبدو أن استخدام الحد الأدنى لمعدلات التهوية للتحكم في الرطوبة له تأثير مباشر وضعيف على معدلات نمو ماشية اللحم[١٥٣]. ويبدو أن العجول الصغيرة على وجه الخصوص تتأثر بالوسط الكيميائي[١٤٨,١٥١]. وتتأثر الدواجن كذلك مع بعض النظم الإدارية سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة بتراكيز الأمونيا[١٥٨,١٥٤] وخاصةً عند زيادة التركيز على ٥٠ جزءاً في المليون.

تولّد مُلوّثات الهواء والخواص الطبيعية

(Air Contaminant Production and Physical Properties)

تتوافر معلومات قليلة جداً عن تولد الملوثات في مباني الإنتاج الحيواني والدواجن. ولكن يمكن التنبؤ بالمعلومات من تراكيز الغازات أو الأتربة في الوحدة المغلقة عندما يكون معدل التهوية معلومًا. وتعتبر التغيّرات في تركيز الغازات عند مواضع مختلفة داخل المبنى المشكلة الواضحة مع هذه الطريقة.

وقد اتضح أن الغازات لها ميل كبير للانتشار واتباع اتساقات الحمل بدلاً من تشكيل انحدار يعتمد على وزن الجزيء[١٤٤]. وقد وجد الباحثون أن الغازات تتوزع في الحظيرة تقريبًا بانتظام عندما تم تزويد قناة الفضلات باستمرار بغازات ثاني أكسيد الكربون والأمونيا وكبريتيد الهيدروجين. وقد وجد في تجربة أخرى أن غاز ثاني أكسيد الكربون الأثقل مرة ونصف من الهواء كان عند تركيز مضاعف عند السقف بالمقارنة بالأرضية؛ نظراً لأن الهواء الخارج من الحيوان يكون أدفأ من الهواء الجوي، وبالتالي يرتفع إلى أعلى. وتسبب الأرضية المثقبة وجود تراكيز أعلى لغازات الفضلات داخل الحفرة تحت الأرضية عنه في الحيز فوق الأرضية المثقبة[١٤٤,١٤٨]. ولكن يمكن سحب غاز الحفرة إلى حيّز الحيوان بواسطة تيارات الحمل الطبيعي والمتولدة من حرارة الحيوان[١٤٩].

ثاني أكسيد الكربون (Carbon Dioxide) : يعتبر غاز ثاني أكسيد الكربون من الغازات التي ليس لها رائحة أو لون، كما أنه أثقل من الهواء بمقدار مرة ونصف. ويرتبط تولد غاز ثاني أكسيد الكربون من الحيوان ارتباطًا مباشرًا بكمية الحرارة المتولدة من الحيوان. وعلى ذلك يعتبر إنتاج ثاني أكسيد الكربون دالة على كل من وزن الحيوان ومستوى التغذية والبيئة الحرارية. ويرتبط لتر واحد من غاز ك أ٢ المتولد من حيوان بفقد حراري (أو متولد) بمتوسط ٢٤,٦ كيلو چول(١٦١). ويمكن التعبير عن ذلك بوحدات واط على أساس أن تولد ٣,٥ لتر من ك أ٢ في اليوم يعادل واحد واط من الحرارة المتولدة.

وقد تسبب طرق تدفئة الحيوانات في زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون المتولد داخل المبنى. فقد وجد في إحدى الدراسات(١٦٠) أن تركيز ثاني أكسيد الكربون المتولد من الحيوانات عند استخدام أقل معدل تهوية كان ٨٥٠ جزءًا في المليون، في حين أن الغازات المتولدة من الدفايات قد تسببت في إضافة ١٢٤٠ جزءًا في المليون من غاز ثاني أكسيد الكربون. أي أن الدفايات قد تسببت في زيادة تركيز غاز ك أ٢ بمعدل أعلى مما تسببه الحيوانات نفسها.

الميثان (Methane) : يعتبر غاز الميثان من الغازات الأخف وزنًا من الهواء وليس له لون أو رائحة. ويصبح مخلوط من غاز الميثان مع الهواء بنسبة من ٥ إلى ١٥ ٪ بوحدات الحجوم مخلوطًا قابلاً للاشتعال.

ويتولد غاز الميثان بنسبة من ٧ إلى ٩٪ من كمية غاز ك أ٢ المتولدة، وذلك في حالة التغذية الكاملة للحيوانات. ويقل هذا المعدل مع خفض معدل التغذية حتى يصل إلى الصفر في حالة التصويم(١٦٨). ويتولد غاز الميثان أساسًا أثناء التغذية، ويصل إلى أقصى معدل له بعد حوالي ساعة واحدة من التغذية(١٦٩). وسوف تنتج بقرة تزن ٥٠٠ كجم- بناءً على البيانات المدونة في الجدول رقم (٧,١) وعلى كمية ك أ٢ المتولدة والمحسوبة - حوالي ٣٩٢ لتر ميثان/ يوم. وتتوافق تلك القيمة مع القيمة المنشورة (٣٠٠ لتر ميثان/ يوم لكل بقرة)(١٤٥).

كبريتيد الهيدروجين (Hydrogen Sulfide) : يعتبر هذا الغاز أثقل من الهواء ولا لون له، كما أن له رائحة تشبه رائحة البيض الفاسد. وقد وجد أن تركيز غاز كبريتيد الهيدروجين كان منخفضاً باستثناء في حظائر الخنازير عندما تثار المخلفات أو تُضخ إلى الخارج. وقد وجد أن تراكيز كبريتيد الهيدروجين في وحدات خنازير مهواة كانت تتغير عند الإثارة حتى تصل إلى تركيز عشرة أجزاء في المليون بالنسبة للعمليات التجارية[١٦٥]. وقد سُجلت تراكيز مرتفعة لكبريتيد الهيدروجين أثناء إثارة المخلفات حتى أنها وصلت إلى ١٠٠٠ جزء في المليون[١٦٢].

أمونيا (Ammonia) : يعتبر غاز الأمونيا من الغازات ذات الرائحة النفاذة، كما أن ليس له لون. ويعتبر غاز الأمونيا من الغازات الأخف وزنًا من الهواء، كما أنه قابل للذوبان في الماء. ولايزيد تركيز الأمونيا في الهواء في معظم مباني الإنتاج الحيواني ذات التهوية الجيدة على ١٤ جزءاً في المليون[١٦٠]. وقد وجد أن معدل تبخر الأمونيا يتأثر بدرجة الحرارة داخل المبنى. فقد كان تركيز الأمونيا ٤,٣ ملي جم/لتر هواء عند درجة حرارة ١٣°م، بينما أرتفع التركيز إلى ٩,٨ ملي جم/لتر عند درجة حرارة ٢٧°م، وذلك عند استعمال معدل تهوية ٣, م٣/(دقيقة. بقرة)[١٥٣].

ويعتبر تركيز غاز الأمونيا في مباني الدواجن غير ثابت ومتغير. فقد كان التركيز في إحدى الدراسات عن الدجاج الرومي حوالي ٥٠ جزءاً في المليون، وقد ارتفع حتى ١١٠ أجزاء في المليون[١٥٩]. وقد تغيّر التركيز في مبنى دجاج لاحم - عند ٢٤°م ومعدل تهوية ١,١ م٣/(ساعة. طائر) - من ١٥ حتى ٩٠ جزءاً في المليون[١٥٨]. وقد انخفض التركيز عند مضاعفة معدل التهوية إلى ٢,٣ م٣/(ساعة. طائر) إلى أقل من ٥٠ جزءاً في المليون.

الأتربة (Dust) : أمكن تقسيم الأتربة على أنها الجسيمات المتعلقة بالهواء والأكبر في القطر من ميكرون واحد والأقل من ١٥٠ ميكرونًا. وتعتبر الأبخرة جسيمات أقل في القطر من ميكرون واحد، ولكن سوف تحدد في هذا الفصل على أنها أتربة. وسوف تترسب جسيمات الأتربة الأكبر من عشرة ميكرونات ولاتنتشر في الهواء، بينما قد تنتشر جسيمات الأتربة الأقل من عشرة ميكرونات في الهواء وتظل عالقةً معه. ويكون قطر الايروديناميكي أو الديناميكا الهوائية - والذي يستخدم

لتحديد حجم الجسيم - " القطر الذي يأخذ افتراضيًا شكل الكرة بالنسبة لوحدة الكثافة، وله نفس سرعة الترسيب النهائية مثل الجسيم الذي يبحث عنه بغض النظر عن حجمه الهندسي وشكله وكثافته الفعلية "(١٨٠).

ويتوقف شكل جسيمات الأتربة على مصدرها. فتأخذ الجسيمات الشكل الأسطواني الطويل بقطر أربعة ميكرونات إذا كانت من الريش المكسور(٨١). وقد يتولد من الجلد جسيمات ذات أقطار في المدى من ١ - ٤٥٠ ميكرون(١٨١).

وتمتص جسيمات الأتربة الغازات والسوائل. و قد تحمل الأتربة ڤيروسات وبكتريا لكثير من الأمراض. وقد وُجد أن الأتربة هي المحرك الرئيسي لنقل الأمراض (Marek)(182).

وتتوقف كمية الأتربة في الجو على نوع فرشة الحيوان المستخدمة. فيتولد عن الدواجن الموجودة داخل الأقفاص كمية أقل من الأتربة تتراوح من رُبع إلى عُشر (٥٤ مج / طائر . يوم) كمية الأتربة الناتجة فيما لو كانت تربية الدواجن تتم على فرشة أرضية(١٨٣). وقد تراوحت تراكيز الأتربة في مباني الدجاج الرومي في دراسات أخرى من ٠,٧١ إلى ٤٠,٦ (مج/ م^{٣}) مع ٢٥ إلى ٥٠٪ من الجسيمات الأقل من عشرة ميكرونات(١٥٦).

الإنتاجية والصحة (Production and Health)

لايشكل تركيز غاز ك أ$_{٢}$ أي مشكلة في بيوت الإنتاج الحيواني سواء بالنسبة للإنسان أو الحيوان. وقد وُجد أن تركيز ك أ$_{٢}$ حتى ٣٠٠٠٠ جزء في المليون يعتبر مستوى آمنًا بالنسبة للإنسان، مع أن أعلى مستوى يوصى به ١٠٠٠٠(١٦٣). وتمثل هذه القيم من ١ إلى ١٠ مرات القيم الطبيعية داخل مباني الإنتاج الحيواني.

ويعتبر غاز الميثان خطرًا ليس فقط على الصحة، ولكن أيضًا من حيث سرعة الاشتعال. وقد يحدث اختناق عند مستويات مرتفعة من الميثان.

و تعتبر غازات كبريتيدات الهيدروجين والأمونيا من الغازات ذات الاهتمامات الرئيسية. وقد تمت دراسة هذين الغازين كلٌ على حدة ومجتمعين لمعرفة ما إذا كانت

تتولد تأثيرات إضافية أو متداثبة. وقد تمت أيضًا دراسة تأثير الأتربة مجتمعةً مع هذه الغازات. وتعتبر الحدود الآمنة التي يوصي بها في الصناعة لكل من كبريتيدات الهيدروجين والأمونيا ١٠ و ٢٥ جزءًا في المليون على الترتيب.

وقد وجد أن حيّز عمل الأفراد في بيئة الحيوانات والدواجن يتأثر عكسيًا بالملوثات الغازية. ويتأثر عمال النظافة داخل مباني الإنتاج الحيواني بتراكيز تلك الغازات داخل المبنى. وقد تظهر بعض المشاكل الصحية المرتبطة بالجهاز التنفسي للعاملين بعد مرور ثلاث سنوات من العمل داخل هذه المباني. وقد أجريت دراسة على أحد عشر فردًا من العاملين داخل وحدات حيوانية أوضحت أن ٥٠٪ قد أصيبوا بالسعال وضيق التنفس والزكام[١٦٥].

وقد تسبب كل من الأمونيا وكبريتيدات الهيدروجين فقدانًا للشهية، وبالتالي انخفاض الإنتاجية[١٦٦]. وقد ارتبطت تأثيرات الأمونيا بخفض النضوج الجنسي، وكبريتيدات الهيدروچين بزيادة معدلات الإجهاض[١٦٦].

الماشية (Cattle)

يوجد تأثير واضح لكل من الأمونيا وكبريتيدات الهيدروجين على العجول الصغيرة التي تترواح أوزانها من ١٣٥ كجم إلى ٢٤٦ كجم[١٦٧]. ويبدأ تأثر العجول الصغيرة بكبريتيدات الهيدروچين عند تراكيز ٢٠ جزءًا في المليون، والأمونيا عند تركيز ٥٠ جزءًا في المليون. فقد لوحظ احتقان عين العجل الصغير عند تعرضه في أيام قليلة لتراكيز من الأمونيا في المدى من ٦٥ إلى ١٥٠ جزءًا في المليون. وينتج عن تعرض العجول لتركيز ٢٠ جزءًا في المليون من كبريتيدات الهيدروجين تلف في شبكية قرنية العين. وقد نتج أيضًا عن تعرض العجول لتركيز ٢٠ جزءًا في المليون من كبريتيدات الهيدروچين لمدة أسبوع إلى تلف شبكية القرنية. وقد نتج عن تركيز ٢٠ جزءًا في المليون لغاز كبريتيدات الهيدروچين منفردًا وتركيز ٦٥ جزءًا في المليون لغاز الأمونيا منفردًا تولّد تأثير مشترك أدى إلى فقدان الشهية للطعام.

الدواجن (Poultry)

تعتبر الأمونيا والأتربة من أهم عوامل التلوث التي تمت دراستها داخل عنابر الدواجن. وتسبب زيادة تركيز الأمونيا عن ١٠٠ جزء في المليون إلى انخفاض في معدل النمو[١٥٨،١٥٤]. وقد نتج عن زيادة تركيز الأمونيا من (صفر- ١٠) أجزاء في المليون مع تركيز للأتربة من (١, ٧-٧, ١٧) مج من الأتربة/ م٣ إلى حدود قصوى من (٢٠-٣٠) جزءًا في المليون للأمونيا مع (٧, ٢٤-٣, ٣٥) مج من الأتربة/ م٣ تأثير جوهري في حيّز الدجاج الرومي، ولكن لم يحدث أي تغيّر جوهري بالنسبة لكفاءة تحويل الغذاء[١٧٢]. ولم يتولد أي تفاعل معنوي مع فيروس مرض النيوكاسل عند تعرض الدجاج الرومي لهذا الفيروس تحت ظروف مماثلة ومرتفعة من الأمونيا والأتربة لمدة ستة أيام. وقد أدى تعرض الدجاج الرومي لتركيز ٢٠ جزءًا في المليون من الأمونيا ولفصل دراسي طويل إلى ظهور مشاكل رئوية بعد الأسبوع السادس، وذلك بالمقارنة مع وسط خال من الأمونيا. وقد أصبحت تلك الطيور سريعة التأثر بفيروس مرض النيوكاسل تحت نمط نابع من التركيز[١٥٧].

المراجع

1 Smith, C. V. 1974. Farm buildings. In: Heat loss in animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham, (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 345-365. Butterworth Group. London.

2 Carpenter, G. A. 1974. Ventilation of buildings for intensively housed livestock. In: Heat loss in animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham, (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 389-403. Butterworth Group. London.

3 Armstrong, B. 1974. A technique for assessing the economics of environmental control in farm buildings. In: Heat loss in animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham, (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 405-423. Butterworth Group. London.

4 Benzinger, T. H. 1969. Heat regulation: Homeostasis of central temperature in man. Physiol. Rev. 49(4):671-759.

5 Bligh, John. 1972. Neuronal models of mammalian temperature regulation. In: Essays on temperature regulation. (Eds.) J. Bligh and R. Moore. 105-120. North Holland Publ. Amsterdam.

6 Bligh, John. 1973. Temperature regulation in mammals and other vertebrates. American Elsevier Publ. New York.

7 Cabanac, M. 1975. Temperature regulation. Ann. Rev. Physiol. 37:415-439.

8 Calder, W. A. and J. A. King. 1974. Thermal and caloric relations of birds. In: Avian biology. (Eds.) D. S. Farner and J. R. King. Vol. 4, 259-413. Academic Press. New York.

9 Chaffee, R. R. J. and J. C. Roberts. 1971. Temperature acclimation in birds and mammals. Ann. Rev. Physiol. 33:155-202.

10 Gale, C. C. 1975. Neutrendocrine aspects of thermoregulation. Ann. Rev. Physiol. 35:391-430.

11 Fan, L. T., F. T. Hsu and C. L. Hwang. 1971. A review of mathematical models of the human thermal system. IEEE Trans. Biomedical Engr. Vol. BME 18(3):218-234.

12 Hammel, H. T. 1968. Regulation of internal body temperature. Ann. Rev. of Physiol. 30:641-710.

13 Richards, S. A. 1973. Temperature regulation. Wykeham Publ. Ltd. London.

14 Whittow, G. C. (Ed.). 1970. Comparative physiology of thermoregulation. Vol. I, Invertebrates and Non-mammalian vertebrates. Academic Press, New York.

15 Brown, A. C. and G. L. Breugelmann. 1970. The interaction of peripheral and central inputs in the temperature regulation system. In: Physilogical and behavioural temperature regulation. (Eds.) J. D. Hardy, A. Ph. Gugge and J. A. J. Stolwijk. 684-702. Charles C. Thomas Publ. Springfield.

16 Hensel, H. 1973. Neural processes in thermoregulation. Physiol. Rev. 53:948-1017.

17 Hardy, J. D. 1972. Model of temperature ragulation. In: Essays on temperature regulation. (Eds.) J. Bligh and R. Moore. 163-186. American Elsevier Publ. New York.

18 Mitchell, D., A. R. Atkins and C. H. Wyndham. 1972. Mathematical and physical models of thermoregulation. In: Essays on temperature regulation. (Eds.) J. Bligh and R. Moore. 37-54. American Elsevier Publ. New York.

19 Scott, N. R. 1976. Thermoregulation in poultry. ASAE Paper 76-5011, ASAE, St. Joseph, MI 49085. 38 pp.

20 Simon, Eckhart. 1974. Temperature regulation: The spinal cord as a site of extrahypothalamix thermoregulatory functions. Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol. 71:1-76.

21 Brown, W. H. 1976. Thermoregulation in sheep. ASAE Paper 76-5010, ASAE, St. Joseph, MI 49085. 22 pp.

22 Stombaugh, D. P. 1976. Thermoregulation in swine. ASAE Paper 76-5009, ASAE, St. Joseph, MI 49085. 27 pp.

23 Paine, M. D. 1976. Thermoregulation in beef cattle. ASAE Paper 76-5007, ASAE, St. Joseph, MI 49085. 24 pp.

24 Wiersma, Frank. 1976. Thermoregulation in dairy cattle. ASAE Paper 76-5008, ASAE, St. Joseph, MI 49085. 28 pp.

25 Stewart, R. E. 1976. Thermoregulation research—perspective and potential. ASAE Paper 76-5006, ASAE, St. Joseph, MI 49085. 11 pp.

26 Baldwin, B. A. 1974. Behavioural thermoregulation. In: Heat loss in animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham. (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 97-117. Butterworth Group. London.

27 Carlisle, H. J. and D. L. Ingram. 1973. The effects of heating and cooling the spinal cord and hypothalamus on thermoregulatory behavior in the pig. J. Physiol. (London) 231:353-364.

28 Richards, S. A. 1976. Behavioural temperature regulation in the fowl. J. Physiol. (London) 258:1228-1238.

29 Horowitz, K. A., N. R. Scott, P. E. Hillman and A. van Tienhoven. 1978. Effects of feathers on instrumental thermoregulatory behavior in chickens. Physiol. Behav. 21(2):233-238.

30 Webster, A. J. F. 1974. Heat loss from cattle with particular emphasis on the effects of cold. In: Heat loss in animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham. (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 205-231. Butterworth Group. London.

31 Baile, C. A., J. M. Forbes. 1974. Control of feed intake and regulation of energy balance in ruminants. Physiol. Rev. 54:160.

32 Van Kampen, M. 1974. Factors affecting energy expenditure. In: Energy requirements of poultry. Poultry Sci. Symp. #9. 47-60. Br. Poultry Sci., LTD.

33 Baumgardt, B. R., L. F. Krobill, J. L. Gobble and P. J. Wangsness. 1976. Estimating feed intake for cattle, sheep and swine. In: Proc. First International Symposium Feed Composition, Animal Nutrient Requirements, and Computerization of Diets. (Eds.) P. V. Fonnesbeck, L. E. Harris and L. C. Kearl. 464-469. Utah State Univ., Logan, Utah.

34 Young, B. A. 1976. Effects of cold environments on nutrient requirements of ruminants. In: Proc. First International Symposium Feed Composition, Animal Nutrient Requirements, and Computerization of Diets. (Eds.) P. V. Fonnesbeck, L. E. Harris and L. B. Kearl. 491-496. Utah State Univ., Logan, Utah.

35 Klieber, M. 1961. The fire of life. New York, Wiley.

36 Teter, N. C. and J. A. DeShazer. 1976. Effects of temperature on nutrient requirements of meat animals. In: Proc. First International Symposium Feed Composition, Animal Nutrient Requirements, and Computerization of Diets. (Eds.) P. V. Fonnesbeck, L. E. Harris and L. C. Kearl. 497-501. Utah State Univ., Logan, Utah.

37 Ota, H. and E. H. McNally. 1961. Poultry respiration calorimetric studies of laying hens. Bulletin ARS 42-43, U.S. Dept. of Agric.

38 Buffington, D. E., K. A. Jordan, W. A. Junnila and L. L. Boyd. 1974. Heat production of active, growing turkeys. TRANSACTIONS of the ASAE 17(3):542-545.

39 Romijn, C. and W. Lokhorst. 1961. Some aspects of energy metabolism in birds. 2nd Symposium on Energy and Metabolism. EAAP Publ. No. 10. 49-58.

40 O'Neill, S. J. B. and N. Jackson. 1974. Observation on effect of environmental temperature and environment at moult on the heat production and energy requirements of hens and cockerels of a white Leghorn strain. J. Agric. Sci. (Camb.) 82:553-558.

41 O'Neill, S. J. B. and N. Jackson. 1974. The heat production of hens and cockerels maintained at an extended period of time at a constant environmental temperature of 23 °C. J. Agric. Sci. (Camb.) 82:549-552.

42 Jordan, K. A. and A. C. Dale. 1963. Calorimetric measurement of heat transmission components of chickens. TRANSACTIONS of the ASAE 6(1):11-15.

43 Roller, W. L. and A. C. Dale. 1963. Heat losses from Leghorn layers at warm temperatures. TRANSACTIONS of the ASAE 6(2):136-139.

44 Walton, H. V. and A. C. Dale. 1963. Radiant, convective, and latent heat loss from mature white Leghorn chickens. TRANSACTIONS of the ASAE 6(1):15-18, 25.

45 DeShazer, J. A., K. A. Jordan and C. W. Suggs. 1970. Effect of acclimation on partitioning on heat loss by the laying hen. TRANSACTIONS of the ASAE 13(1):82-84.

46 Olson, L. L., J. A. DeShazer and F. B. Nather. 1974. Convective, radiative and evaporative heat losses of white Leghorn layers as affected by bird density per cage. TRANSACTIONS of the ASAE 17(5):960-964, 967.

47 Alexander, G. 1974. Heat loss from sheep. In: Heat loss in animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham. (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 173-203. Butterworth Group. London.

48 Blaxter, K. L., N. McC. Graham, F. W. Wainman and D. G. Armstrong. 1959. Environmental temperature, energy metabolism and heat regulation in sheep. II. The partition of heat losses in closely clipped sheep. J. Agric. Sci. (Camb.). 52:24-40.

49 Blaxter, K. L., N. McC. Graham and F. W. Wainman. 1959. Environmental temperature, energy metabolism and heat regulation in sheep. III. The metabolism and thermal exchanges of sheep with fleeces. J. Agric. Sci. (Camb.) 52:41-49.

50 Brown, W. H. and M. D. Shanklin. 1970. Respiratory fraction of total insensible heat loss from shorn and unshorn sheep. TRANSACTIONS of the ASAE 13(4):505-507.

51 Graham, N. McC., F. W. Wainman, K. L. Blaxter and D. G. Armstrong. 1959. Environmental temperature, energy metaboism and heat regulation in sheep. I. Energy metabolism in closely clipped sheep. J. Agric. Sci. (Camb.) 52:13-24.

52 Butchbaker, A. F. and M. D. Shanklin. 1964. Partitional heat losses of newborn pigs as affected by air temperature, absolute humidity, age and body weight. TRANSACTIONS of the ASAE 7(4):380-383, 387.

53 Close, W. H. and L. E. Mount. 1975. The rate of heat loss during fasting in the growing pig. J. Nutr. 34:279.

54 Ingram, D. L. 1974. Heat loss and its control in pigs. In: Heat loss from animals and man. (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 234-254. Butterworth Group. London.

55 Kibler, H. H. 1960. Energy metabolism and related thermoregulatory reactions in brown swiss, holstein, and jersey calves during growth at 50 and 80 °F temperatures. Mo. Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 743. Columbia, Mo.

56 Yeck, R. D. 1957. Stable heat and moisture dissipation with beef calves at temperatures of 50 and 80 degrees F. Mo. Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 645. Columbia, Mo.

57 Blaxter, K. L. 1962. The energy metabolism of ruminants. Hutchinson Co., Ltd. London.

58 Blaxter, K. L. and F. W. Wainman. 1961. Environmental temperature and the energy metabolism and heat emission of steers. J. Agric. Sci. (Camb.) 56:81-90.

59 Blaxter, K. L. and F. W. Wainman. 1964. The effect of increased air movements on heat production and emission of steers. J. Agric. Sci. (Camb.) 62:207-214.

60 Gonzalez-Jimenez, E. and K. L. Blaxter. 1962. The metabolism and thermal regulation of calves in the first month of life. British Journal of Nutrition. 16:199-212.

61 Yeck, R. G. and R. E. Stewart. 1959. Ten year summary of psychroenergetic laboratory research. TRANSACTIONS of the ASAE 2(1):71-77.

62 Mount, L. E. 1974. The concept of thermal neutrality. In: Heat loss from animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham. (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 425-439. Butterworth Group. London.

63 McLean, J. A. 1974. Loss of heat by evaporation. In: Heat loss from animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham. (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 19-31. Butterworth Group. London.

64 Gebhart, B. 1971. Heat transfer. 2nd Ed. McGraw-Hill, New York.

65 Cena, K. 1974. Radiative heat loss from animals and man. In: Heat loss from animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham. (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 33-58. Butterworth Group. London.

66 Mitchell, D. 1974. Heat transfer from man and other animals. In: Heat loss from animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham. (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 59-76. Butterworth Group. London.

67 Monteith, J. L. 1973. Principles of environmental physics. Edward Arnold. London.

68 Kelly, C., T. E. Bond and W. Garrett. 1964. Heat transfer from swine to a cold slab. TRANSACTIONS of the ASAE 7(1):34, 35, 37.

69 Wenger, C. B. 1972. Heat of evaporation of sweat: thermodynamic considerations. J. Appl. Physiol. 32(4):456-459.

70 Esmay, M. L. 1977. Principles of Animal Environment, AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.

71 Mitchell, D. C. 1972. Some environmental aspects of calf housing—a review. Farm Building R & D Studies. Scottish Farm Building Investigation Univ. January. pp. 3-20.

72 Bond, T. E., C. F. Kelly and H. Heitman, Jr. 1959. Hog house air conditioning and ventilation data. TRANSACTIONS of the ASAE 2(1):1-4.

73 Ota, H., J. A. Whitehead and R. J. Davey. 1975. Heat production of male and female piglets. J. of Anim. Sci. 41(1):436.

74 Cairnie, A. B. and J. D. Pullar. 1957. The metabolism of the young pig. J. of Physiol. 139:15P.

75 Harmon, D. J., A. C. Dole and H. W. Jones. 1968. Effect of floor type on required moisture-vapor removal rate from swine finishing houses. TRANSACTIONS of the ASAE 11(1):149-152.

76 Longhouse, A. D., H. Ota, R. E. Emerson and J. O. Heishman. 1968. Heat and moisture design data for broiler houses. TRANSACTIONS of the ASAE 11(5):694-700.

77 Reece, F. N., J. W. Deaton and C. W. Bouchillin. 1969. Heat and moisture production of broilers. Part I—summer conditions. Poultry Sci. 48:1297.

78 Deaton, J. W., F. N. Reece and C. W. Bouchillin. Heat and moisture production of broilers. Part 2—winter conditions. Poultry Sci. 48:1579.

79 Armstrong, D. G., K. L. Blaxter, J. L. Clapperton, N. McC. Graham and F. W. Wainman. 1960. Heat production and heat emission of two breeds of sheep. J. Agr. Sci. 55:395-401.

80 Graham, N. McC., F. W. Waiman, K. L. Blaxter and D. G. Armstrong. 1959. Environmental temperature, energy metabolism and heat regulation in sheep I. Energy metabolism in closely clipped sheep. J. Agr. Sci. 52:13-24.

81 Ames, D. R. 1974. Wind-chill factors for cattle and sheep. In: Livestock environment. Proceedings of the Internaional Livestock Environment Symposium. SP-0174, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

82 Yeck, R. G. and R. F. Stewart. 1959. A ten-year summary of the Psychro-energetic Laboratory dairy cattle research at the University of Missouri. TRANSACTIONS of the ASAE 2(1):71-77.

83 Hellickson, M. A., H. G. Young and W. B. Witmer. 1974. Ventilation design for closed beef buildings. In: Livestock environment. Proceedings of the International Livestock Environment Symposium. SP-0174, ASAE, St. Joseph, MI 49085. pp. 123-129.

84 Yeck, R. G. and R. E. Stewart. 1960. Stable heat and moisture description with dairy calves at temperatures of 50 and 80 °F. Missouri Agricultural Experiment Station Research Bulletin No. 759.

85 DeShazer, J. A., L. L. Olson and F. B. Mather. 1974. Heat losses of large white turkeys—6 to 36 years of age. Poultry Sci. 55(6):2047-2054.

86 Ota, H. and E. H. McNally. 1961. Heat and moisture production of Beltsville white turkeys. Poultry Sci. 40(5):1550.

87 Teter, N. C. and J. A. DeShazer. 1976. Animal performance models. ASAE Paper No. 76-5013, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

88 Riskowski, G. L., J. A. DeShazer and F. B. Mather. 1977. Heat losses of white Leghorn laying hens as affected by intermittent lighting schedules. TRANSACTIONS of the ASAE 20(4):727-731.

89 DeShazer, J. A. and F. B. Mather. 1975. Heat losses of pullets after initial grouping at different bird densities per cage. Poultry Sci. 54:1753.

90 Bruce, J. M. and J. J. Clark. 1979. Models of heat production and critical temperature for growing pigs. Animal Prod. (in press).

91 Mount, L. E. 1960. The influence of huddling and body size on the metabolic rate of the young pig. J. of Agr. Sci. 55(1):101-105.

92 Alexander, G. 1961. Temperature regulation in the new-born lamb. III. Effect of environmental temperature on metabolic rate, body temperature and respiratory quotient. Australian Journal of Agricultural Research 12(6):1152-1174.

93 Kleiber, M. 1975. The fire of life. Robert E. Krieger Publ. Co. Huntington, New York. pp. 328-332.

94 Hahn, G. L. 1976. Shelter engineering for cattle and other domestic animals. In: Progress of Animal Biometeorology. The Effect of Temperature on Animals (ed. H. D. Johnson). Progress in Biometeorology. Swets and Zeitlinger, B. V. Amsterdam. pp. 496-503.

95 Hahn, G. L., N. F. Meador, G. B. Thompson and M. D. Shanklin. Compensatory growth of beef cattle in hot weather and its role in management decisions. Livestock Environment. Proceedings of the International Livestock Environment Symposium. SP-0174, ASAE, St. Joseph, MI 49085. pp. 288-295.

96 Bond, T. E., C. F. Kelly and H. Heitman, Jr. 1963. Effect of diurnal temperature upon swine heat loss and well-being. TRANSACTIONS of the ASAE 6(2):132-135.

97 Webster, A. J. F., J. G. Gordon and J. S. Smith. 1976. Energy exchanges of veal calves in relation to body weight, food intake and air temperature. Anim. Prod. 23:35-42.

98 Webster, A. J. F. and J. G. Gordon. 1977. Air temperature and heat losses from calves in the first weeks of life. Anim. Prod. 24:142.

99 Holmes, C. W. and A. W. F. Davey. 1976. The energy metabolism of young Jersey and Friesian calves fed fresh milk. Anim. Prod. 23:43-53.

100 Harris, G. C., Jr., G. S. Nelson, W. H. Dodgen and R. L. Seay. 1975. The influence of air temperature during brooding on broiler performance. Poultry Sci. 54(2):571-577.

101 Webster, A. J. F. 1976. Effect of cold on energy metabolism of sheep. In: Progress in Animal Biometeorology. The effect of Weather and Climate on Animals (Ed.) H. D. Johnson. Progress in Biometeorology. Swets and Zeitlinger B. V. Amsterdam. pp. 218-226.

102 Wilson, W. O. 1976. Effects of temperature on oviposition and egg formation in poultry. In: Progress in animal biometeorology. The effect of temperature on animals. (Ed.) H. D. Johnson. Progress in Biometeorology. Swets and Zeitlinger B. V. Amsterdam. pp. 411-416.

103 Van Kampen, M. 1976. Evaporative temperature regulation in birds. In: Progress in animal biometerology. The effect of temperature on animals. (Ed.) H. D. Johnson. Progress in Biometeorology. Swets and Zeitlinger B. V. Amsterdam. pp. 158-166.

104 Thompson, G. E. 1976. Effects of cold on energy metabolism of cattle. In: Progress in animal biometeorology. The effect of temperature on animals. (Ed.) H. D. Johnson. Progress in Biometeorology. Swets and Zeitlinger B. V. Amsterdam. pp. 210-217.

105 Johnson, K. G. 1976. Evaporative temperature regulation in sheep. In: Progress in animal biometeorology. The effect of temperature on animals. (Ed.) H. D. Johnson. Progress in Biometeorology. Swets and Zeitlinger B. V. Amsterdam. pp. 210-217.

106 Morrison, S. R., T. E. Bond and H. Heitman, Jr. 1967. Skin and Lung Moisture Loss from Swine. TRANSACTIONS of the ASAE 10(5):691-692, 696.

107 Morrison, S. R., T. E. Bond and P. Finn-Kelcey. 1966. The influence of humidity on growth rate and feed utilization of swine. Int. J. Biometeorology 10:163-168.

108 Morrison, S. R., H. Heitman, Jr. and T. E. Bond. 1969. Effect of humidity on swine at temperatures above optimum. Int. J. of Biometeor. 13:135-139.

109 Morrison, S. R., T. E. Bond and H. Heitman, Jr. 1968. Effect of humidity on swine at high temperature. TRANSACTIONS of the ASAE 11(4):256-258.

110 Beckett, F. E. 1965. Effective temperature as a means of evaluating a design hog environment. TRANSACTIONS of the ASAE 8(2):163-166.

111 Roller, W. L. and R. F. Goldman. 1969. Response of swine to acute heat exposure. TRANSACTIONS of the ASAE 12(1):164-169, 174.

112 Winn, P. N. and E. F. Godfrey. 1967. The effect of humidity on growth and feed conversion of broiler chickens. Int. J. Biometeor. 11(1):39-50.

113 McLean, J. A. and D. T. Calvert. 1972. Influence of air humidity on the partition of heat exchanges in cattle. J. Agric. Sci. 78(2):303-307.

114 Bianca, W. 1962. Relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. Nature 195:251-252.

115 Nelson, D. P., C. H. Read, B. J. Barfield, J. N. Walker, V. Hayes and G. Cromwell. 1972. The performance of swine under warm environments. TRANSACTIONS of the ASAE 15(1):133-136.

116 Hazen, T. E. and D. W. Mangold. 1960. Functional and basic requirements of swine housing. AGRICULTURAL ENGINEERING 41(9):585-590.

117 Ingram. D. L. 1965. The effect of humidity on temperature regulation and cutaneous water loss in the young pig. Res. Vet. Sci. 6(1):9-17.

118 Lee, D. H. K. and K. Robinson. 1941. Reactions of the sheep to hot atmosphere. Proceedings of the Royal Society of Queensland. 53(12):199-200.

119 Berry, I. L., M. D. Shanklin and H. D. Johnson. 1964. Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. TRANSACTIONS of the ASAE 7(3):329-331.

120 Thom, E. C. 1956. Measuring the need for air conditioning. Air Conditioning Heating and Ventilation. 53(8):65-70.

121 Payne, C. G. 1967. The influence of environmental temperature on egg production; a review Ch. 2. In: Environmental control in poultry production. (Ed.) T. C. Carter. Oliver and Boyd. London.

122 Yeats, N. T. M., D. H. K. Lee and H. J. G. Hines. 1941. Reaction of domestic fowls to hot atmosphere. Proceedings of the Royal Society of Queensland. 53(7):105-128.

123 Bond, T. E., H. Heitman, Jr., and C. F. Kelly. 1965. Effects of increased air velocities on heat and mositure loss and growth of swine. TRANSACTIONS of the ASAE 8(2):167-169.

124 Drury, L. N. 1966. Air velocity and broiler growth in a diurnally cycled environment. TRANSACTIONS of the ASAE 9(3):329-331.

125 Siegel, H. S. and L. N. Drury. 1968. Physiological responses of chickens to variations in air temperature and velocity. Poultry Sci. 47(4):1120-1127.

126 Siegel, H. S. and L. N. Drury. 1968. Physiological responses to high lethal temperature and air velocity in young fowl. Poultry Sci. 47(4):1230-1235.

127 Wilson, W. O., C. F. Kelly, R. T. Lorenzen and A. E. Woodword. 1957. Effect of wind on growth of fryers after two weeks of age. Poultry Sci. 36(5):978-984.

128 Bond, T. E., C. F. Kelly and N. R. Ittner. 1957. Cooling beef cattle with fans. AGRICULTURAL ENGINEERING 38(5):308-309.

129 Garrett, W. N., T. E. Bond and C. F. Kelly. 1960. Effect of air velocity on grains and physiological adjustment of Hereford steers in a high temperature environment. J. Animal Sci. 9(1):60-66.

130 Brody, S. 1956. Climatic physiology of cattle. J. Dairy Sci. 38:715-725.

131 Muehling, A. J. and A. H. Jensen. 1961. Environmental studies with early-weaned pigs. Univ. of Ill. Agr. Exp. Sta. Bul. 670.

132 Sainsbury, D. 1979. Livestock health and housing. Bailliere Tindall Pub. London, England.

133 Vergel, M. M. and T. E. Hazen. 1972. Air velocity effect on heat produced by growing pigs. ASAE Paper No. MC-72-301, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

134 Morrison, S. R., R. L. Givens and H. Heitman, Jr. 1976. Effects of air movement on swine at high temperature. Int. J. Biometeor. 20(4):337-343.

135 Zimmerman, R. A. and D. C. Snetsinger. 1976. Performance and physiological responses of laying chickens housed in controlled climatic environments. Proceedings of the Southern Regional Avian-Environmental Physiology and Bio-engineering Study Group. 12th Annual Meeting, Atlanta, Georgia.

136 Stephens, D. B. and I. B. Stuart. 1970. The effects of ambient temperature, nature and temperature of floor and radiant heat on the metabolic rate of the new-born pig. Int. J. Biometeor. 14(3):275-283.

137 Spillman, C. K. and C. N. Hinkle. 1971. Conduction heat transfer from swine to controlled temperature floors. TRANSACTIONS of the ASAE 14(2):301-303.

138 Restrepo, G., M. D. Shanklin and L. Hahn. 1977. Heat dissipation from growing pigs as a function of floor and ambient temperature. TRANSACTIONS of the ASAE 20(1):145-147.

139 Bruce, J. M. 1979. Heat loss from animals to floors. Farm Building Progress 55:1-4.

140 Hinkle, C. N. and H. W. Jones. 1976. Energy balancing with thermal radiation. In: Livestock environment. Proceedings of the International Livestock Environment Symposium. SP-0174. ASAE, St. Joseph, MI 49085. pp 274-280.

141 Mentzer, J. E., C. N. Hinkle, H. W. Jones, J. E. Kadlec. 1969. A winter comparison of bedded and non-bedded open-front, growing-finishing swine buildings. TRANSACTIONS of the ASAE 12(3):389-391, 396.

142 Shanklin, M. D., R. K. Malhorta, G. L. Hahn and H. V. Biellier. 1977. Predicted equations for heat losses of mature Broad Breasted Bronze Turkeys. TRANSACTIONS of the ASAE 20(1):148-149, 154.

143 Joyce, J. P. and K. L. Blaxter. 1964. The effect of air movement, air temperature and infrared radiation on the energy requirements of sheep. Brit. J. Nutr. 18:5-27.

144 Noren, O., S. Skarp and G. Aniansson. 1967. Manure gas problem. Translated by Alfa-Laval, Tumba. Circular No. 20, Swedish Institute of Agr. Engr. (JTI). Ultuna, Uppsala 7 Sweden.

145 Baxter, S. H. 1969. The environmental complex in livestock housing—a review. Farm Building Report, 14. The Scottish Farm Building Investigation Unit. Aberdeen, U.K.

146 Anderson, A. A. 1958. New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. J. of Bact. 76:471-484.

147 ASHRAE HANDBOOK OF FUNDAMENTALS. 1981. Am. Soc. of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. New York, New York.

148 Sallivik, K. 1974. Manure gases and their effect on livestock health. In: Livestock Environment, ASAE, St. Joseph, MI 49085. pp. 373-377.

149 Bruce, J. M. 1975. Air movement through perforated floors. Farm Buildings Research and Development Studies. 05:3-10.

150 Gordon, W. A. M. 1963. Environmental studies in pig housing III. Ventilation and odour intensity. Brit. Vet. J. 119:219-221.

151 Anderson, J. F., D. W. Bates and K. A. Jordan. 1978. Medical and engineering factors relating calf health as influenced by the environment. TRANSACTIONS of the ASAE 21(6):1169-1174.

152 Morrison, S. R., R. L. Givens and H. Heitman, Jr. 1976. A note on growth and food conversion in pigs at different air temperatures and ventilation rates. Anim. Prod. 23:249-252.

153 Morrison, S. R., G. P. Lofgreen and R. L. Givens. 1976. Effect of ventilation rate of beef cattle performance. TRANSACTIONS of the ASAE 19(3):530-532.

154 Charles, D. R. and C. G. Payne. 1966. The influence of graded levels of atmospheric ammonia on chickens. I. Effects on respiration and on the performance of broilers and replacement growing stock. Brit. Poult. Sci. 7(3):177-187.

155 Charles, D. R. and C. G. Payne. 1966. The influence of graded levels of atmospheric ammonia on chickens. II. Effects on the performance of laying hens. Brit. Poult. Sci. 7(3):189-198.

156 Anderson, D. P., C. W. Beard and R. P. Hanson. 1966. Influence of poultry house dust, ammonia and carbon dioxide on the resistance of chickens to Newcastle Disease. Avian Diseases 10(2):177-188.

157 Anderson, D. P., C. W. Beard and R. P. Hanson. 1964. The adverse effects of ammonia on chickens including resistance to infection with Newcastle disease virus. Avian Diseases 8:369-379.

158 Valentine, H. 1964. A study of the effect of different ventilation rates on the ammonia concentrations in the atmosphere of broiler houses. Brit. Poult. Sci. 5(2):149-159.

159 Anderson, D. P., F. L. Cherms and R. P. Hanson. 1964. Studies on measuring the environment of turkeys raised in confinement. Poul. Sci. 43(2):305-318.

160 Feddes, J. J. R. and J. B. McQuitty. 1973. Effects of beef housing systems on gaseous contaminants removed by ventilation. Canadian Agr. Engr. 15(2):119-123.

161 Brody, S. 1945. Bioenergetics and growth. Reinhold Publishing Corp. Now published by Hafner Publishing Co., Inc. New York, New York. 1968.

162 Barber, E. M. and J. B. McQuitty. 1974. Hydrogen sulfide evolution from anaerobic swine manure. Dept. of Agr. Engr. University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.

163 NIOSH. 1976. Occupational exposure to carbon dioxide. U.S. Department of Health, Education, and Welfare. HEW Publication No. (NIOSH) 76-194. Superintendent of Documents, Washington, D.C.

164 Preuschen, G. 1974. Air pollution and human work capacity. In: Livestock environment symposium SP-0174, ASAE, St. Joseph, MI 49085. pp. 195-198.

165 Donham, K. J., M. Rubino, T. D. Thedell and J. Kammermeyer. 1977. Potential health hazards to agricultural workers in swine confinement buildings. J. Occupational Med. 19(6):383-387.

166 Nordstrom, G. A. and J. B. McQuitty. 1976. Manure gases in the animal environment. Dept. of Agr. Engr. University of Alberta, Edmonton, Alberta. Research Bulletin 76-1.

167 Nordstrom, G. A. and J. B. McQuitty. 1975. Response of calves to atmospheric hydrogen sulfide and ammonia. Paper No. 75-212. Canadian Soc. of Agric. Eng.

168 Graham, N. Mc. 1964. Energetic efficiency of fattening sheep. Aust. J. Agr. Res. 15:100-112.

169 Blaxter, K. L. 1962. The energy metabolism of ruminants. Hutchinson Scientific and Technical. London.

170 Brannigan, P. G. and J. B. McQuitty. 1972. Concentration temperature relationships of atmospheric gaseous contaminants. Canadian Agr. Engr. 14(1):37-41.

171 NIOSH. 1977. Occupational exposure to hydrogen sulfide. U.S. Department of Health, Education, and Welfare. HEW Publication no. (NIOSH) 77-158. Superintendents of Documents, Washington, D.C.

172 Wolfe, R. R., D. P. Anderson, F. L. Cherms, Jr. and W. E. Roper. 1968. Effect of dust and ammonia air contamination on turkey response. TRANSACTIONS of the ASAE 11(4):515-518. 522.

173 Quarles, C. L. and H. F. King. 1974. Evaluation of ammonia and infectious bronchitis vaccination stress on broiler performance and carcass quality. Poultry Sci. 53(4):1592-1596.

174 Bundy, D. S. and T. E. Hazen. 1975. Dust levels in swine confinement systems associated with different feeding methods. TRANSACTIONS of the ASAE 18(1):137-139, 144.

175 Curtis, S. E., A. H. Jense, J. Simon and D. L. Day. 1974. Effects of aerial ammonia, hydrogen surfide and swine house dust, alone and combined, on swine health and performance. In: Livestock Environment, ASAE, St. Joseph, MI 49085. pp. 209-210.

176 Curtis, S. E., J. G. Drummond and J. Simon. 1977. Atmospheric Ammonia Affects Swine Health. Illinois Research. 19(4):8-9.

177 Doig, P. A. and R. A. Willoughby. 1971. Response of swine to atmospheric ammonia and organic dust. J. Amer. Vet. Med. Assoc. 159(11):1353-1361.

178 Stombaugh, D. P., H. S. Teague and W. L. Roller. 1969. Effects of atmospheric ammonia on the pig. J. Anim. Sci. 28:844-847.

179 Verstegen, M. W. A., W. Van Der Hell, A. A. Jongebreur and G. Enneman. 1976. The influence of ammonia and humidity on activity and energy balance data in groups of pigs. Z Tierphysiol Tiererernaehr Futtermittelkd. 37(5):255-263.

180 Honey, H. F. and J. B. McQuitty. 1976. Dust in the animal environment. Department of Agricultural Engineering, The University of Alberta, Edmonton, Alberta. Research Bulletin 76-2.

181 Koon, J., J. R. Howes, W. Grub and C. A. Rollo. 1963. Poultry dust: origin and composition. AGRICULTURAL ENGINEERING 44(11):608-609.

182 Lillie, R. J. 1970. Air pollutants affecting the performance of domestic animals; a literature review. Agricultural Research Service, United States Dept. of Agric., Washington, D.C. pp. 34-40.

183 Grubb, W., C. A. Rollo and J. R. Howes. 1965. Dust problems in poultry environments, TRANSACTIONS of the ASAE 8(5):338-339.

184 Biana, W. 1965. Cattle in a hot environment. J. Dairy Res. 32:291-345.

185 Hafez, E. S. E. 1959. Reproductive capacity of farm animals in relation to climate and nutrition. J. Amer. Vet. Med. Assoc. 135:606-614.

186 Meyer, V. M. and L. Van Fossen. 1971. Effects of Environment on Pork Production. Iowa State University. AE 1063. Ames, Iowa, pp. 94.

187 Shelton, M., J. T. Morrow and O. C. Butler. 1966. Reproductive efficiency of fine-wool sheep. Texas A&M Univ., Texas Agr. Exp. Sta. May.

188 Teague, H. S. 1970. Effect of temperature and humidity on reproduction. 21-26. In Symposium Proceedings. Effect of Disease and Stress on Reproductive Efficiency in Swine. Univ. of Nebraska, College of Agriculture, Nov.

189 Ulberg, L. C. 1958. The influence of high temperature on reproduction. J. Hered. 49:62-64.

190 Venter, H. A. W., J. C. Bonsma and J. D. Skinner. 1973. The influence of climate on the reproduction of cattle. Int. J. Biometeor. 17:147-151.

191 Corteel, J. M., J. P. Signoret and F. Du Mesnil du Buisson. 1964. Variations salsonnieres de la reproduction de la trule et facteurs favorisant tanestrus temporaire. Fifth Congr. Int'l. Reprod. Animal Insen. Artif. 536.

192 Erb, R. E. and D. R. Waldo. 1952. Seasonal changes in fertility of dairy bulls in northwestern Washington. J. Dairy Sci. 35:245-249.

193 Mercier, E. and G. W. Salisbury. 1947. Seasonal variations in hours of daylight associated with fertility level of cattle under natural breeding conditions. J. Dairy Sci. 30:747-756.

194 Mercier, E. and G. W. Salisbury. 1947. Fertility level in artificial breeding associated with season, hours of daylight and the age of cattle. J. Dairy Sci. 30:817-825.

195 Stott, G. H. 1961. Female and breed associated with seasonal fertility variation in dairy cattle. J. Dairy Sci. 44:1698-1704.

196 Stott, G. H. and J. R. Williams. 1962. Causes of low breeding efficiency in dairy cattle associated with seasonal high temperatures. J. Dairy Sci. 45:1369-1375.

197 Wiersma, F. and G. H. Stott. 1966. Microclimate modification for hot-weather stress relief of dairy cattle. TRANSACTIONS of the ASAE 9(3):309-313.

198 Ingraham, R. H. 1973. Estimation of conception rate of Holstein cows due to adverse temperature and humidity in tropical and subtropical climates. Int. J. Biometeor. 17:131-134.

199 Igboeli, G. and A. M. Rakha. 1971. Seasonal changes in the ejaculate characteristics of Angoni (short hor Zebu) bulls. J. Anim. Sci. 33:651-654.

200 Wiersma, F. and G. H. Stott. 1969. New concepts in the physiology of heat stress in dairy cattle of interest to engineers. TRANSACTIONS of the ASAE 12(1):130-132.

201 Shelton, M. 1964. Relation of birth weight to death losses and to certain productive characters of fall-born lambs. J. Anim. Sci. 23:355-359.

202 Shelton, M. 1964. Relation of environmental temperature during gestation to birth weight and mortality in lambs. J. Anim. Sci. 23:360-364.

203 Shelton, M. and J. T. Morrow. 1965. Effects of season on reproduction of Rambouillet ewes. J. Anim. Sci. 24:795-799.

204 Roller, W. L and D. P. Stombaugh. 1974. The influence of environmental factors on reproduction of livestock. Proc. of Int'l. Livestock Environment Symposium. Special Publication SP-0174. ASAE, St. Joseph, MI 49085. pp. 31-50.

205 Thwaites, C. J. 1969. Embryo mortality in the heat-stresses ewe. II. Applications of hot-room results to field conditions. J. Reprod. Fertility. 19:255-262.

206 Dutt, R. H., E. F. Ellington and W. W. Carlton. 1959. Fertilization rate and early embryo survival in sheared and unsheared ewes following exposure to elevated air temperatures. J. Anim. Sci. 18:1308.

207 Bond, J. and R. E. McDowell. 1972. Reproductive performance and physiological response of beef females as affected by a prolonged high temperature. J. Anim. Sci. 35:820-829.

208 Teague, H. S., W. L. Roller and A. P. Grifo, Jr. 1968. Influence of high temperature and humidity on the reproductive performance of swine. J. Anim. Sci. 27:408-411.

209 Edwards, R. L., I. T. Omtvedt, E. J. Turman, D. F. Stephens and G. W. A. Mahoney. 1968. Reproductive performance of gilts following heat stress prior to breeding and in eary gestation. J. Anim. Sci. 27:1634-1637.

210 Omtvedt, I. T., R. E. Nelson, R. L. Edwards, D. F. Stephens and E. J. Turman. 1968. Influence of heat stress during early, mid and late pregnancy of gilts. J. Anim. Sci. 27:312-317.

211 Tompkins, E. C., C. J. Heidenreich and M. Stob. 1967. Effects of postbreeding thermal stress on embryonic mortality in swine. J. Anim. Sci. 26:377-380.

212 Warnick, A. C., H. D. Wallace. A. Z. Palmer, E. Sosa, D. J. Durerre and V. E. Caldwell. 1965. Effect of temperature on early embryo survival in gilts. J. Anim. Sci. 24:89-92.

213 Shelton, M., and J. E. Huston. 1958. Effects of high temperature stress on certain aspects of reproduction in the ewe. J. Anim. Sci. 17:153-158.

214 Rich, T. D. and C. W. Alliston. 1970. Influence of programmed circadian temperature changes on the reproductive performance of ewes. J. Anim. Sci. 30:966-969.

215 Roller, W. L., H. S. Teague, R. K. Christenson and A. P. Grifo, Jr. 1973. Effect of ambient heat exposure upon swine reproduction. ASAE Paper No. 73:416, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

216 Dutt, R. H. 1963. Critical period for early embryo mortiality in ewes exposed to high ambient temperature. J. Anim. Sci. 22:713-719.

217 Dutt, R. H. 1964. Detrimental effects of high ambient temperature on fertility and early embryo survival in sheep. Int. J. Biometeor. 8:47-56.

218 D'Arce, R. D., H. S. Teague, W. L. Roller, A. P. Grifo, Jr. and W. M. Palmer. 1970. Effect of short-term elevated dry-bulb and dew-point temperature on the cycling gilt. J. Anim. Sci. 30:374-377.

219 Christenson, R. K., H. S. Teague, A. P. Grifo, Jr. and W. L. Roller. 1972. The effect of high environmental temperature on the boar. Ohio Swine Resarch and Information Report—1972. Research Summary #61, Ohio Agricultural Research and Development Center. Wooster, Ohio. 19-23.

220 McNitt, J. I. and N. L. First. 1970. Effects of 72-hour heat stress on semen quality in boars. Int. J. Biometeor. 14:373.

221 Dutt, R. H. and P. T. Hamm. 1957. Effects of exposure to high environmental temperature and shearing on semen production in rams in winter. J. Anim. Sci. 16:328.

222 Dutt, R. H. and E. C. Simpson. 1957. Environmental temperature and fertility of southdown rams early in the season. J. Anim. Sci. 16:136.

223 Entwistle, K. Q. 1973. Ram fertility and fertilization rates in the ewe in a semi-arid tropical environment. Int. J. Biometeor. 17:109-113.

224 Whitemena, J. V. and K. I. Brown. 1958. The effect of delayed shearing of ewes and daytime cooling of rams on late spring breeding performance. J. Anim. Sci. 18:392.

225 Physiology of Reproduction in Cattle. 1971. Western Regional Research Publication. California Agricultural Experiment Station Bulletin No. 853. pp. 66. September.

226 Thompson, H. J. 1957. Influence of humidity and wind on heat loads with dairy barns. Univ. of Missouri Agric. Exp. Sta. Research Bulletin 618.

227 Kibler, H. H. and S. Brody. 1954. Influence of wind on heat exchange and body temperature regulation in Jersey, Holstein, Brown Swiss and Brahman Cattle. Univ. of Missouri Agric. Exp. Sta. Research Bulletin 552.

228 Hamada, T. 1971. Extension of lowe critical temperature for dry and lactating dairy cows. J. Dairy Science. 54:1704-1705.

229 Mount, L. E. 1976. Heat loss in relation to plane of nutrition and thermal environment. Proc. Nutr. Soc. 35:81-86.

الفصل الثامن

معدل سريان الهواء لتهوية المواشي والدواجن*

(QUANTITY OF AIR FLOW FOR LIVESTOCK VENTILATION)

- مقدمة •معادلات أساسية • اختيار القيم
- مقارنة النتائج • معدلات تهوية قياسية

مقدمة

(Introduction)

يناقش هذا الفصل المعادلات الأساسية المستخدمة لإيجاد معدلات سريان الهواء المطلوبة لتهوية المباني الزراعية ، كمايقدم قيمًا تُستخدم مع هذه المعادلات . و سوف يتم شرح كيفية استخدام المعادلات والقيم مع الشرح لعدة أمثلة .

معادلات أساسية

(Fundamental Equations)

استخدمت الأشكال الأساسية للمعادلات المستخدمة لإيجاد معدل سريان الهواء في العديد من أنواع التحليلات الهندسية على مر السنين. فنجد تحت ظروف الحالات المستقرة أن قوانين حفظ الطاقة والمادة قد أوضحت أنه لووُضع كيلو جرام واحد من الهواء أو الماء أو جول واحد داخل حيّز مغلق، فإنه لابد من أخذ كيلو جرام واحد إلى الخارج. أساسيًا :

الكمية الداخلة = الكمية الخارجة (٨,١)

* كارلوس هينكل : جامعة بوردو، لافاييت الغربية
دينيس ستومبوف : جامعة ولاية أوهايو، كولومبس

وقد يتطلب لسريان الهواء في بعض الأحيان وجود مدخل واحد خلال الحيّز المغلق، كما قد يوجد في بعض الأحيان عدة مخارج.

موازنة الحرارة المحسوسة (Sensible Heat Balance)

يمكن كتابة معادلة اتزان حراري محسوس بالنسبة لحيز مغلق خاص بمنشأة إنتاج حيواني وذلك بناءً على المعادلة رقم (١ ,٨) كالآتي:

$$Qs+Qe+Qsub \pm Qw+Qvo = Qvi+Qb \quad (٨ ,٢)$$

حيث:

Qs = الحرارة المحسوسة المتولدة بواسطة الحيوانات

Qe = الحرارة الكلية المتولدة من الأجهزة مثل المحركات الكهربائية، الإضاءة، وغيرة

Qsup = الحرارة المضافة للمحافظة على درجة الحرارة الداخلية عند المستوى المطلوب

Qw = الحرارة المحسوسة الناتجة من تكثيف بخار الماء(+) أو المستخدمة لتبخير الرطوبة (−) خلال الحيز

Qvo = المحتوى الحراري المحسوس للهواء الخارجي والداخل إلى المبنى

Qvi = المحتوى الحراري المحسوس للهواء الداخلي و الخارج من المبنى

Qb = الحرارة المفقودة خلال حوائط وأرضية وسقف وأبواب وشبابيك المبنى.

وعادة يتم ترتيب أجزاء المعادلة رقم (٢ ,٨) إلى داخل مجموعتين. فيمثل المجموع الجبري للحرارة المكتسبة أو المفقودة على الجانب الأيسر من المعادلة رقم (٨ ,٣) الحرارة المحسوسة المتاحة لتدفئة هواء التهوية، بينما يمثل الفرق بين المحتوى الحراري المحسوس للهواء الداخل والخارج على الجانب الأيمن من المعادلة رقم (٨ ,٣) الحرارة المحسوسة المفقودة في عملية التهوية.

$$Qs + Qe + Qsup + Qw - Qb = Qvi - Qvo \quad (٨ ,٣)$$

ويمكن تقليل عدد أجزاء الجانب الأيسر من المعادلة بإهمال الحرارة المتولدة من الأجهزة (Qe) حيث القيمة صغيرة بالمقارنة بالمركبات الأخرى. ونظراً لأنه من

الطبيعي أن تكون معدلات التهوية منخفضة في فصل الشتاء، فإنه يجب الأخذ في الاعتبار الحرارة المحسوسة الناتجة إما من تكثيف بخار الماء (+Qw) أو المستخدمة لتبخير الرطوبة (Qw) من داخل المبنى. وقد يكون التكثيف ذا قيمة بالنسبة للمباني ذات الأسطح غير المعزولة أو التي تحتوي على شبابيك كثيرة. أما بالنسبة للمباني ذات الأسطح المعزولة جيداً وذات معدل تهوية كاف، فإنة في الغالب ما يهمل التكثيف. وبالمثل، قد يكون تبخر كل من اليوريا والماء من أرضية المبنى بمعدلات جذرية بالنسبة للمباني الممتلئة بالحيوانات مع وجود أرضية مثقبة غير نافذة للماء. وتوصي بعض المراجع بالنسبة لبعض المنازل بزيادة قيمة الرطوبة الخارجة من تنفس الحيوانات بمقدار ٢٥٪ للحصول على الرطوبة الكلية التي يمكن التخلص منها باستخدام نظام التهوية الشتوي. وقد يكون المطلوب زيادة الحرارة المضافة (Qw) لتبخير أي زيادة في الرطوبة الداخلة إلى المبنى في صورة ماء حر. وبصرف النظر عن ذلك، يجب أن تتضمن أساليب الإدارة للحيوانات مراعاة استخدام عوازل لأسطح المبنى وتقدير معدل التهوية المطلوب.

وتعتبر المعادلة رقم (٨,٣) صالحة الاستخدام – طالما أن (Qv) أكبر من (Qvi) – لإيجاد معدل التهوية المطلوب للمحافظة على درجة حرارة الهواء الداخلية المطلوبة. كما أنه يمكن أيضًا استخدامها لحساب كمية الطاقة المضافة (Qsup) وذلك بمعلومية معدل التهوية. ولابد عند استخدام هذه المعادلة من تقييم كل جزء على حدة. ويمكن استخدام رمز فردي (Qsv) ليمثل الحرارة المحسوسة المستخدمة لتدفئة هواء التهوية. ويمكن أيضًا تقييم الفرق بين المحتوى الحراري للهواء الخارجي والداخلي بالنسبة لوحدة الزمن بمعلومية كتلة هواء التهوية لوحدة الزمن مضروبة في فرق المحتوى الحراري، أو مضروبة في الحرارة النوعية وفرق درجة الحرارة بين الهواء الداخل والخارج.

$$Qsv = M(htp - ho) \quad (٨,٤)$$

أو

$$Qsv = M(Cp)(ti - to) \quad (٨,٥)$$

حيث:

Qsv = الحرارة المحسوسة المستخدمة لتدفئة هواء التهوية، كيلوجول/ ث

M = كتلة هواء التهوية، كجم/ث

htp = نقطة انقلاب المحتوى الحراري للهواء، تُقوّم عند درجة الحرارة الداخلية ونسبة الرطوبة الخارجية، كيلوچول/ (كجم هواء جاف. °م)

ho = المحتوى الحراري للهواء الخارجي، كيلوچول/ (كجم هواء جاف. °م)

Cp = الحرارة النوعية للهواء الجاف، (١,٠٠٣٥) كيلوچول/ (كجم هواء جاف. °م)

ti = درجة حرارة الهواء الداخلية، °م

to = درجة حرارة الهواء الخارجية، °م.

ولا تتساوى تمامًا المعادلة رقم(٨,٤) مع المعادلة رقم (٨,٥). فتعتبر المعادلة رقم (٨,٤) أكثر دقة بحوالي ٠,٠٠٢ كيلوچول لكل درجة من فرق درجات الحرارة. ويرجع السبب في ذلك إلى زيادة درجة حرارة بخار الماء الموجود في الهواء الداخل والذي لم يدخل في الحساب في المعادلة (٨,٥). ويمكن إهمال الفرق بين المعادلتين بالمقارنة بالفروض الأخرى. ويُفضل استخدام المعادلة رقم (٨,٤) في حالة توافر خريطة سيكرومترية. وتسمح الخريطة بالحصول على حل مرئي مثله مثل الحل الرقمي. وتعتبر معادلة المحتوى الحراري مرغوبة أيضًا في حالة توافر آلة حاسبة أو حاسوب آلي. وتتوافر جداول البيانات في المرجع (ASHRAE, 1981). ويمكن في حالات أخرى الحصول على حل سريع مع دقة مقبولة باستخدام المعادلة رقم (٨,٥).

ويمكن الحصول على البيانات الخاصة بالحرارة المتولدة من الحيوانات والتي تستخدم في المعادلة رقم (٨,٣) وذلك إما من الجدولين رقمي (٧,١) أو (٧,٢) في الفصل السابع، أو يمكن إيجادها من المعادلات الموجودة في المرجع رقم (١). ويمكن حساب الحرارة المفقودة من المبنى من المعادلة :

$$Qb = UA(ti - to) \quad (٨,٦)$$

حيث :

UA = معامل الفقد الحراري والذي يمكن الحصول عليه من مواصفات المبنى، كيلوواط/°م

(ti & to) تم تعريفهما في المعادلة رقم(٨,٥).

ولكي نحصل على معدل التهوية المطلوب للمحافظة على درجة حرارة محددة للهواء الداخل بدون أي إضافة حرارية خارجية، فإنه ينبغي وضع (Qsup) مساوية للصفر. ويمكن حل المعادلتين رقمي (٨,٤) و (٨,٥) بالنسبة لـ (M) كالآتي:

$$M = (Qs - Qb)/(htp - ho) \quad (٨,٧)$$

و

$$M = (Qs - Qb)/Cp(ti - to) \quad (٨,٨)$$

ونظراً لأنه من الطبيعي أن يعبر عن (M) بوحدات متر مكعب على الثانية، فإن قيم (M) في كل من المعادلتين رقمي (٨,٧) و (٨,٨) في احتياج للتحويل من وحدات كتلة إلى وحدات حجوم. والمعادلات الناتجة لمعدل التهوية بوحدات متر مكعب على الثانية هي:

$$Vs = [v/(htp - ho)][Qs - UA(ti - to)] \quad (٨,٩)$$

$$Vs = [v/(Cp(ti - to)][Qs - UA(ti - to)] \quad (٨,١٠)$$

حيث:

Vs = معدل التهوية الضروري للتخلص من الحرارة المحسوسة المتاحةوللمحافظة على درجة حرارة الهواء الداخلي عند (ti) م^3/ ثانية

v = الحجم النوعي للهواء، يُقوّم عند الظروف الداخلية بالنسبة لنظم الطرد، ويقوّم عند الظروف الخارجية بالنسبة لنظم الضغط، م^3 / كجم هواء جاف.

أما في حالة اختيار قيمة لمعدل التهوية، فإنه يمكن حساب كمية الطاقة الواجب إضافتها للمبنى بالحل بالنسبة لـ (Qsup) في المعادلة رقم(٨,٣). ويُفضل استخدام الوحدات (كيلوواط) بالنسبة لـ (Qsup).

موازنة الرطوبة (الحرارة الكامنة) (Moisture (Latent Heat) Balance)

يمكن - بنفس الطريقة السابقة - أن نبدأ بالمعادلة رقم (٨,١) بناءً على اتزان الرطوبة أو الحرارة الكامنة في تطوير عدد من المعادلات لحساب معدل التهوية الضروري للتخلص من الرطوبة المتولدة، وكذا المحافظة على نسبة رطوبة محددة سابقة داخل المبنى. والمعادلات الناتجة هي:

$$V1 = (V.Q1)/(hi - htp) \quad (٨,١١)$$

$$V1 = (V.Mw)/(Wi - Wo) \quad (٨,١٢)$$

حيث :

V1 = معدل التهوية للتحكم في الرطوبة (الحرارة الكامنة)، م٣/ ث

V = الحجم النوعي للهواء، يُقوّم عند الظروف الداخلية بالنسبة لنظم الطرد، ويُقوّم عند الظروف الخارجية بالنسبة لنظم الضغط، م٣/ كجم هواء جاف

Q1 = معدل الحرارة الكامنة المتولدة داخل المبنى، كيلو واط

hi = نقطة انقلاب المحتوى الحراري للهواء، تقيم عند درجة الحرارة الداخلية ونسبة الرطوبة الخارجية، كيلوچول/ كجم هواء جاف

Mw = معدل بخار الماء المتولد داخل المبنى، كجم ماء/ ث

= Q1/ ٢٤٣٠

ويمثل الرقم ٢٤٣٠ الحرارة الكامنة لتبخير الماء عند درجة حرارة ٣٠°م، كيلو چول/ كجم ماء

Wi = نسبة رطوبة الهواء الداخلي، كجم ماء/ كجم هواء جاف

Wo = نسبة رطوبة الهواء الخارجي، كجم ماء/ كجم هواء جاف .

ومن الضروري مع أي من المعادلات السابقة استخدام خريطة سيكرومترية أو جداول الخواص السيكرومترية .

اختيار القيَم

(Selection of Values)

لا توجد اختلافات جوهرية حول شكل المعادلات التي سبق عرضها في الجزء السابق. فيُفضل البعض قيَم المحتوى الحراري، بينما يُفضل البعض الآخر استخدام درجة الحرارة ونسب الرطوبة. ويتطلب اختيار وتحديد قيم للمعادلات السابقة فهم العمل البحثي السابق والمقدرة على الاختيار من بين تلك الأبحاث ومعرفة الظروف المناخية المحلية. والأربع عوامل الأساسية التي يجب أخذها في الاعتبار هي: (أ) الظروف التصميمية الخارجية (ب) الظروف التصميمية الداخلية (جـ) الحرارة المحسوسة المتولدة (د) الحرارة الكامنة المتولدة.

الظروف التصميمية الخارجية (Outside Design Conditions)

بيانات الأرصاد. من الواجب اختيار درجة الحرارة التصميمية للجو البارد بالنسبة للمنطقة التي تحتوي على مبان للإنتاج الحيواني. بينما عادةً ماتُستخدم درجة حرارة واحدة بالنسبة لمنطقة محددة في حساب الفواقد الحرارية ومنها المتطلبات من المواد العازلة وكمية الطاقة الواجب إضافتها، إلا أنه في الغالب ما تُستخدم درجتان أو أكثر في تصميم نظم التهوية. وتُستخدم أيضًا درجة الحرارة الخاصة بحسابات الحرارة المفقودة لإيجاد أقل معدل تهوية مستمر في الأجواء الباردة. وتستخدم أعلى درجة حرارة تصميمية لحساب سعة التهوية بالنسبة للأجواء المعتدلة. ويمكن استخدام درجة حرارة ثالثة - درجة حرارة تصميمية مناسبة لفصل الصيف- عند حساب أقصى سعة مروحية مطلوبة للمحافظة على ظروف مناسبة في فصل الصيف الحار.

أقل معدل تهوية مستمر. يحتوي الهواء على أقل كمية من الرطوبة عندما تكون درجة الحرارة الخارجية هي الأبرد. وهكذا يكون أقل معدل تهوية في جو الشتاء البارد مطلوبًا للتخلص من الرطوبة المتبخرة والحرارة المحسوسة المتولدة داخل المبنى. ويوصى باستخدام درجة الحرارة الخارجية التصميمية عند حساب أقل معدلات التهوية الشتوية. ويوضح الملحق (أ) عناصر الحرارة المفقودة من خلال مبنى إنتاج حيواني. ويوصى عند التصميم باستخدام قيم ٥ , ٩٧٪ المدوّنة في الجدول رقم (١) من الملحق (أ).

وتُستخدم القيمة الكبرى من القيمتين المحسوبتين من المعادلتين رقمي (٩ , ٨) أو (١٠ , ٨) والمعادلتين رقمي (١١ , ٨) أو (١٢ , ٨) كأقل معدل تهوية شتوية مستمرة. ونجد عند حساب أقل معدل تهوية عند درجة حرارة تصميمية - ١٥°م أو أقل، أن الرطوبة النسبية الخارجية تختلف قليلاً. ونجد كذلك أن سعة حمل الهواء للرطوبة تنخفض عند درجة حرارة -١٥°م أو أقل بالمقارنة بدرجة الحرارة الداخلية التي تتراوح من ١٥°م إلى ٢٠°م. ويؤدي ذلك إلى وجود فرق عند اختيار رطوبة نسبية خارجية تتراوح من ٦٠ و ٨٠ أو ١٠٠٪. وعادةً ماتُستخدم رطوبة نسبية في حدود ٨٠٪ في الأغراض التصميمية.

معدل تهوية متوسط . نظرًا لوجوب عمل نظام التهوية بكفاءة سواء في الأجواء الشتوية المعتدلة أو في فصلي الخريف والربيع ، فإنه يجب استخدام أعلى قيمة تصميمية للهواء الخارجي عند الحصول على معدل تهوية متوسط ، وذلك للمحافظة على درجة حرارة ومستويات رطوبة تحت تلك الظروف . ويوضح الجدول رقم (١) في الملحق (أ) المتوسط اليومي لدرجات الحرارة لشهر يناير في الولايات المتحدة . وفي الغالب ما يوصى باستخدام معدل تهوية متوسط بالنسبة للأجواء المعتدلة .

وعادة يتم حساب معدل التهوية المتوسط من تحليل الاتزان الحراري الذي يسمح بالاحتفاظ بأقصى درجة حرارة تصميمية طالما أن درجة الحرارة الخارجية في حدود من ٣ إلى ١٠ °م أقل من درجة الحرارة الداخلية . فعلى سبيل المثال ، لو كانت أقصى درجة حرارة مطلوبة داخل مبنى إنتاج حيواني هى ٢٠ °م ، وتتراوح درجة الحرارة الخارجية ما بين القيمة المتوسطة لشهر يناير و ١٦ °م ، فإنه يمكن حساب أقصى معدل تهوية باستخدام المعادلة رقم (٨, ١٠) مع درجة حرارة داخلية ٢٠ °م ودرجة حرارة خارجية ١٦ °م . وعادة لا يتم استخدام معادلة الاتزان الرطوبي – المعادلة رقم (٨, ١٢) – نظرًا لأن معدل التهوية المتوسط غالبًا ما يكون كافيًا للمحافظة على رطوبة نسبية داخلية مقبولة .

أقصى معدل تهوية . غالبًا مانجد أن تبادل الهواء يكون كافيًا بالنسبة للمباني بدون فتحات كبيرة والتي تعتمد على التهوية الميكانيكية أثناء الجو الحار ، وذلك للمحافظة على درجة حرارة داخلية أعلى قليلاً من درجة الحرارة الخارجية . ويمكن حساب أقصى معدل تهوية باستخدام المعادلة رقم (٨, ١٠) مع فرض فرق درجة حرارة مقداره من ١ إلى ٣ °م . ويمكن الحصول على نتائج متساوية بفرض معدلات تتراوح من ٠,٧٥ إلى ١,٥ (تبادل هوائي / دقيقة) وحساب فرق درجة الحرارة من المعادلة رقم (٨, ١٠) . وغالبًا لا يستخدم المحتوى الرطوبي للهواء في فصل الصيف كأحد العوامل عند حساب متطلبات التهوية . وقد تكون الرطوبة النسبية لهواء الصيف مهمةً في بعض المناطق حيث التهوية الصيفية مرتبطة مع نظام التبريد التبخري.

تصميم الظروف الداخلية (Inside Design Conditions)

عادةً ما يتم اختيار درجات الحرارة الداخلية التصميمية التي تؤدي إلى الوصول إلى أكبر عائد بالنسبة لنظم التربية. وعادةً ما تتأثر درجات الحرارة التصميمية بعدة عوامل منها درجة الحرارة المطلوبة للوصول إلى أقصى معدل مكتسب أو إنتاج والحجم والنوع وعمر الحيوان وتكاليف الطاقة، وهكذا. وكقاعدة عامة، تعتبر درجات الحرارة الواقعة بين ١٠ و ٢٢ °م ملائمة لمعظم الحيوانات والدواجن باستثناء الحيوانات والطيور الصغيرة، حيث منطقة التعادل الحراري الخاصة بها مرتفعةً نسبيًا.

وقد تمت تغطية تأثير درجة الحرارة على الحيوانات في الفصل السابع. وتوجد أيضًا تلك المعلومات في عدة مراجع منها Agric. Eng. Yearbook (1982-1982). وتعتبر تلك البيانات مفيدة في حساب المدى الواجب استخدامه لدرجة الحرارة الداخلية لفصول الشتاء-الربيع-الخريف. وتتأرجح درجة الحرارة الداخلية بالنسبة لقيم التهوية الصيفية عدة درجات فوق درجة الحرارة الخارجية.

وعادةً لا يُحتفظ بدرجة الحرارة الداخلية ثابتة أثناء فصول الشتاء والخريف أو الربيع. فغالبًا ماتتأرجح درجة الحرارة الداخلية أثناء تلك الشهور كدالة على درجة الحرارة الخارجية. وفي الغالب ما تُصمم نظم التهوية والتدفئة للمحافظة على درجة الحرارة الداخلية داخل مدى محدد؛ بغض النظر عن تغيّرات درجات الحرارة الخارجية. فعلى سبيل المثال، تتذبذب درجة الحرارة الداخلية للعجول مابين ١٠ °م و ٢٠ °م بتغير درجة الحرارة الخارجية بين أقل درجة حرارة تصميمية و ١٠ °م.

ويُفضل استخدام رطوبة نسبية داخلية في فصل الشتاء في حدود من ٧٠ إلى ٨٠٪. ويتم اختيار القيمة التصميمية الفعلية بحيث تمنع تكثف بخار الماء على أسطح أجزاء المبنى العديدة. ويرجع السبب في ذلك إلى أن زيادة التكثيف على الأسطح تزيد من معدل تدهور حالة المبنى. كما يؤدي استخدام رطوبة نسبية أقل من ٨٠٪ أثناء العمل الشتوي إلى خفض إمكانية انتشار عدوى الأمراض.

تزويدات الحرارة المحسوسة (Sensible Heat Inputs)

يتأثر إنتاج الحرارة المحسوسة للحيوانات والدواجن بعدة عوامل منها الحجم والعمر والنشاط ومعدل التغذية والإنتاجية ودرجة حرارة الوسط. ويوضح الجدولان

رقمـا (١ , ٧) و (٢ , ٧) القيـم الممكن استـخـدامـهـا في تصـمـيم نظم التـهـوية. وتتـوافر هذه البيـانات أيضًـا في(1981) Agric. Eng. Yearbook. ويؤدي توافــر تلك المعلومات إلى فهم أفضل للمهندس عن الأداء النهائي لنظام التهوية.

فعلى سبيل المثال، تم تجميع بيانات عن الحرارة المحسوسة لعجول بواسطة (Bond et al.)[4] في ولاية كاليفورنيا–ديفيس من داخل غرفة ذات أرضية خرسانية صلبة بدون فرشة تُكحت مرتين يوميًا. ولاتعتبر هذه الطريقة حاليًا من الأساليب الإدارية الشائعة الاستخدام لإنتاج العجول. وقد تم أيضًا اختبار عدد أربعة إلى خمسة حيوانات كمجموعة في غرفة مساحتها ٢ , ٧×٤ , ٣ م. وقد تحتوي مساحة بهذا الحجم في يومنا هذا على عدد من ١٦ إلى ٢٠ عجلاً تحت ظروف التهوية الطبيعية. وتوضح معادلة الارتداد الخاصة بالتنبؤ بالحرارة الكلية وجود اتساق في المنحنيات. ولكن، اعتبرت التغيّرات من ساعة إلى أخرى أثناء "يوم تربية طبيعي" كبيرةً نسبيًا (انظر شكل رقم ٣، Bond et al.) [٣].

وهناك جزء من الحرارة المحسوسة المتولدة يُستخدم في تبخير الرطوبة من الأرضيـة. وبناءً على ذلك تُقاس تلك الحرارة كحرارة كامنة بدلاً من حرارة محسوسة. وكما تم توضيحه سابقًا، فإن الجزء من الحرارة المحسوسة المستخدم في تبخير الماء من فرشة الأرضية يتغير بتغير الأساليب الإدارية. وقد وُجد أن الرطوبة المزالة مع هواء التهوية من الأرضية المثقبة تساوي فقط نصف كمية الرطوبة المزالة فيما لو كانت الأرضية خرسانية صلبة[٥]. ونظرًا لأن الحرارة الكلية المتولدة لا تتأثر جذريًا بنوع نظام الأرضية، فإن نسبة الحرارة المحسوسة إلى الحرارة الكامنة سوف تتغير مع نوع نظام الأرضية المستخدم.

وقد هدفت الفقرات العديدة السابقة إلى توضيح أن معظم الأخطاء في استخدام المعادلات الخاصة بالتهوية والموضحة سابقًا تحدث عند اختيار قيم الحرارة المحسوسة والكامنة المتولدة من الحيوانات. ومن الضروري فهم كيفية الحصول على البيانات والتغيرات الفعلية التي تحدث، وذلك للوصول إلى كفاءة في التطبيق. وبمجرد اختيار قيمة لكمية الحرارة المحسوسة المتولدة من الحيوانات أو الطيور، فإن العوامل الأخرى التي تظهر في حسابات التهوية قد تكون أكثر سهولة في التقييم ولاجدال عليها.

تزويدات الحرارة الكامنة (Latent Heat Inputs)

و يمكن أيضًا تطبيق المناقشة التي تمت بالنسبة للحرارة المحسوسة في الفقرات السابقة على الحرارة الكامنة المتولدة من الطيور والحيوانات. ويوضح الجدولان رقما (٧، ١) و (٧، ٢) أيضًا قيم الحرارة الكامنة التصميمية والموصى باستخدامها للطيور والحيوانات.

مرة أخرى، تكون كمية الحرارة الكامنة الواجب إزالتها مع هواء التهوية بالنسبة لمبنى تربية عجول ذي أرضية مثقبة حوالي نصف تلك القيم الموضحة بواسطة (Bond et al.) [4] – حيث يضاف الانخفاض في الحرارة الكامنة إلى الحرارة المحسوسة المتولدة. وقد تزداد الحرارة الكامنة الواجب إزالتها من مبنى بحوالي الثلث – مع النقص المتناظر في الحرارة المحسوسة– نتيجة لعدة أسباب منها عمليات غسيل الأرضية والفواقد المائية والزيادة في درجة الحرارة والزيادة في معدل التهوية والانخفاض في الرطوبة النسبية الداخلية وزيادة سرعة الهواء فوق سطح الأرضية وانخفاض عدد مرات كحت الأرضيات الصلبة.

مقارنة النتائج

(Comparison of Results)

هناك معادلتان أساسيتان يتم استخدامهما لإيجاد متطلبات التهوية: تعتمد المعادلة الأولى على الحرارة المحسوسة المتاحة، بينما تعتمد الثانية على الحرارة الكامنة. ويمكن تحديد نظام التهوية الملائم بمجرد إجراء الحسابات المناسبة بالنسبة للعديد من ظروف التشغيل (تصميم شتوي، خريفي، ربيعي، أوصيفي). وسوف نستعرض في الفقرات التالية الحسابات التي يجب أخذها في الاعتبار.

أقل معدل تهوية مستمر (Minimum Continuous Ventilation)

يجب عند حساب أقل معدل تهوية مستمر استخدام المعادلتين رقمي(٨، ٩) و (٨، ١١) أو المعادلتين رقمي (٨، ١٠) و (٨، ١٢). ويجب أن تُستخدم مع تلك المعادلات درجة الحرارة التصميمية الشتوية الخارجية مع رطوبة نسبية ٨٠٪ ، وأقل درجة حرارة تصميمية داخلية مع الرطوبة النسبية الداخلية المرغوبة. ويتيح ذلك

وجود معدلين للتهوية: الأول للتحكم في درجة الحرارة والآخر للتحكم في الرطوبة. ويجب استخدام المعدل الأعلى كأقل معدل تهوية مستمر.

مثال رقم ١.

احسب أقل معدل تهوية مستمر باستخدام مراوح من النوع الطارد لمبنى خنازير في مدينة لافاييت بولاية إنديانا. تحتوي المنشأة على ٥٠٠ رأس زنة ٧٥ كجم للواحد والأرضية من الخرسانة الصلبة. قيمة (UA) المتوسطة ٠,٥٥ كيلوواط/°م. أقل درجة حرارة داخلية مرغوبة ١٢ °م وأقصى رطوبة نسبية داخلية ٧٥٪.

الحل

يتم حساب معدل التهوية للتحكم في درجة الحرارة باستخدام المعادلة رقم (٨,٩):

$$Vs = [v/(htp - ho)][Qs - UA(ti - to)]$$

ونجد من الخريطة السيكرومترية أن قيمة V = ٠,٨١٥ (م³/كجم)؛ وقيمة htp = ١٣,٨ (كيلوجول/كجم)؛ وقيمة Qs التي تم التنبؤ بها (SHL) من الجدول رقم (٧,١) عند ١٢ °م و ٧٥ كجم = ١,٧٤ (واط/كجم)

$$Qs = 1.74(w/kg)*75(kg/pig)*500(pigs) = 65.3 \text{ kW}$$

$$Vs = [0.815/(13.8 - (-14.3))][65 - 0.55 (12 - (-16))]$$

$$= 1.44 \text{ m}^3/\text{s}$$

ومعدل التهوية للتحكم في الرطوبة باستخدام المعادلة رقم (٨,١١):

$$V1 = (v*Q1)/(hi - htp)$$

ونجد من الخريطة السيكرومترية أن قيمة (hi) - عند ١٢ °م و ٧٥٪ رطوبة نسبية - تعادل ٢٨,٦ (كيلوجول/كجم). ونجد باستخدام الجدول رقم (٧,١) أن قيمة الرطوبة المتولدة MP = ١,١٧ جم ماء/ (كجم. ساعة).

$$Q1=1.17(g\ H2o/kg.h)*(2.43(kJ/g\ H2o)(1/3600)(h/s)*$$

$$75(kg/pig)*500(pigs)$$

$$= 29.5 \text{ kW}$$

$$V1= (0.815*29.5)/(28.6-13.8)$$

$$= 1.62 \text{ m}^3/\text{s}$$

ونظرًا لأنه قد تم الحصول على القيمة الأكبر من معادلة موازنة الحرارة الكامنة (الرطوبة)، فسوف يتم استخدام الرطوبة النسبية الداخلية عند القيمة التصميمية المختارة. وبما أن استخدام هذا المعدل سوف يتيح معدل تهوية أكبر من المطلوب للتحكم في درجة الحرارة الداخلية المختارة، فسوف تنحدر درجة الحرارة الداخلية إلى قيمة أصغر من أقل قيمة مرغوبة ١٢ °م، وذلك في حالة عدم وجود أي تدفئة إضافية. ونتيجةً لذلك، فإنه من الضروري حساب كمية الحرارة الإضافية المطلوبة للمحافظة على درجة الحرارة الداخلية المرغوبة (ti).

الحرارة الإضافية المطلوبة (Supplemental Heat Requirement)

يجب استخدام المعادلة رقم (٨,٣) عند حساب كمية الحرارة المضافة بالنسبة لـ (Qsup) . ويجب تركيب أجهزة تدفئة ذات أحجام كافية لتغطية حمل التدفئة المطلوب.

مثال رقم ٢

احسب حمل التدفئة المطلوب في مثال ١ إذا كان معدل التهوية المستخدم هو ١,٦٢ م^{3}/ث.

الحل

يمكن إعادة كتابة المعادلة رقم (٨,٣) كالآتي:

$$Qsup = (Qvi - Qvo) + Qb - Qs$$

$$(Qvi - Qvo) = Qsv = M(htp - ho)$$

من المثال رقم ١ :

$$Qsv = (1.62/0.815)(13.8-(-14.3)) = 56.0 \text{ kW}$$

$$Qsup = 56.0 + 15.4 - 65.0 = 6.4 \text{ kW}$$

تأثير استخدام أرضية مثقبة (Slotted Floor Effect)

يمكن تقليل حمل التدفئة المطلوب بالنسبة للأرضية الخرسانية الصلبة في الأمثلة السابقة وذلك عن طريق استخدام أرضية مثقبة. فتعمل الأرضيات المثقبة مع

أحواض التجميع أسفلها على التخلص بسرعة من جزء كبير من سوائل الحيوانات. وهكذا يتم استخدام جزء أقل من الحرارة المحسوسة المتولدة من الحيوانات في تبخير رطوبة الأرضية.

مثال رقم ٣

اعد حساب المثال رقم ١ وذلك في حالة ما إذا كانت الأرضية المستعملة مثقبة.

الحل

يتم استخدام المعادلة رقم (٩ ,٨) في حساب معدل التهوية المطلوب للتحكم في درجة الحرارة. ويلاحظ عدم حدوث أي تغيير لأي من القيم السابقة باستثناء (Qs).
فنجد عند درجة حرارة ١٢ °م ووزن للحيوان مقداره ٧٥ كجم أن:

Vs=[0.13+(1/2)*(0.059)](kW/pig)*500(pigs)
=79.8 kW

وهكذا نجد أن:

Qs = [0.815/(13.8 - (-14.3))][79.8 - 0.55(12-(-16))]
$=1.87\ m^3/s$

ويتم استخدام المعادلة رقم (١١ ,٨) عند حساب معدل التهوية للتحكم في الرطوبة. ويلاحظ عدم حدوث أي تغيير لأي من القيم السابقة باستثناء Q1.

(Q1 at 12 °C and 75 kg) =(1/2)*0.059(kW/pig)*500(pigs)
= 14.8 kW

وهكذا نجد أن:

V1 = (0.815*14.8)/(28.6-13.8)
$= 0.82\ m^3/s$

ونجد بناءً على ماسبق أن الحصول على أكبر معدل تهوية كان في المثال رقم ٣ من معادلة موازنة الحرارة المحسوسة. وهكذا يتم استخدام هذا المعدل مع تثبيت درجة الحرارة المستخدمة عند القيمة المختارة بدون أي احتياج إلى حرارة إضافية. ويعتبر هذا المعدل أكبر من المعدل المطلوب للمحافظة على المستوى المرغوب من الرطوبة النسبية الداخلية. وقد أصبحت الرطوبة النسبية الداخلية أقل من القيمة

الأولى، ويعتبر ذلك مرغوبًا طبيعيًا.

استخدام حالات أخرى غير حالات التصميم الدنيا

(Other than Minimum Design Conditions)

يمكن الحصول على صورة واضحة لأداء التهوية الشتوية لمبنى إنتاج حيواني عن طريق حساب متطلبات التهوية لكل من الاتزان الحراري والرطوبي بالنسبة لمدى من درجات الحرارة الخارجية، ورسم القيم المحسوبة للحصول على تمثيل بياني لأداء المبنى.

مثال رقم ٤

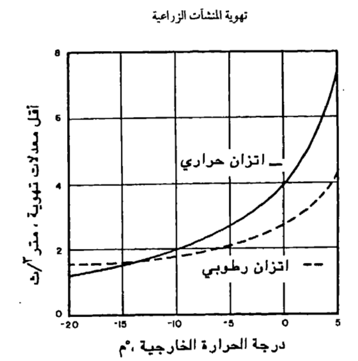
اعد حساب معدلات التهوية (V1, Vs) في المثال رقم ١ باستخدام درجات حرارة خارجية تتغير من −٢٠ إلى ٥° م ورطوبة نسبية ثابتة عند ٨٠٪.

الحل

التنائج الجدولية

to	-٢٠,٠٠	-١٥,٠٠	-١٠,٠٠	-٥,٠٠	صفر	٥,٠٠
ho	-١٨,٩٠	-١٣,١٠	-٦,٩٠	-٠,١	٧,٦٠	١٥,٩٠
htp	١٣,٢٠	١٤,٠٠	١٥,٢٠	١٧,٠٠	١٩,٦٠	٢٢,٩٠
Vs	١,٢٠	١,٥١	١,٩٥	٢,٦٥	٣,٩٧	٧,١٢
V1	١,٥٦	١,٦٥	١,٧٩	٢,٠٧	٢,٦٧	٤,٢٢

ويوضح الشكل رقم (١ ,٨) بيانيًا قيم معدلات التهوية. ويلاحظ أن منحنيات التهوية للتحكم في كل من الرطوبة والحرارة تتقاطع عند درجة حرارة خارجية حوالي − ١٢° م. ونجد عند درجات حرارة أقل من نقطة التقاطع أن معدل التهوية المطلوب للتحكم في الرطوبة أعلى منه للتحكم في درجة الحرارة. وتسمح المراوح التي تعمل بواسطة جهاز الحس الحراري عند هذه الدرجات المنخفضة بتراكم الرطوبة داخل المبنى، أي أن الرطوبة سوف ترتفع فوق المستويات المطلوبة، وقد يحدث تكثيف على الأسطح الباردة. ونجد عند درجات حرارة أعلى من نقطة



شكل (٨,١). أقل معدلات تهوية محسوبة لكل من الاتزان الحراري والرطوبي لمبنى تربية خنازير ذي أرضية صلبة بالقرب من مدينة لافاييت بولاية أنديانا. تم التحكم في الظروف الداخلية عند ١٢ °م ورطوبة نسبية ٧٥٪ ورطوبة نسبية خارجية ٨٠٪.

التقاطع أن معدل التهوية المطلوب للاتزان الحراري يزداد عن معدل التهوية المطلوب للتحكم في الرطوبة. وفي تلك الحالة، لن تكون هناك أي مشكلة بالنسبة لتكثيف الرطوبة.

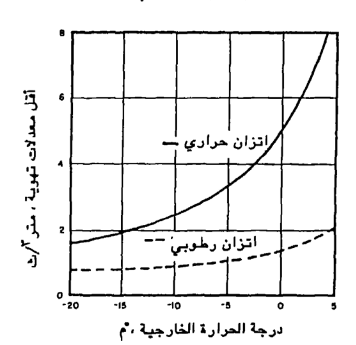
مثال رقم ٥

اعد حساب مثال ٤ في حالة وجود أرضية مثقبة.

الحل

لن يحدث في هذا المثال أي تغيير بالنسبة إلى (Vl) و(Vs) عن القيّم المحسوبة في المثال رقم ٣. و لن يحدث كذلك أي تغيير بالنسبة للمحتوى الرطوبي وبعض القيم الأخرى عن ما هو موجود في المثال رقم ٤. وقد تم عمل جدول مماثل لجدول النتائج الموضح في الشكل رقم ٤ باستخدام آلة حاسبة مبرمجة، كما في الشكل رقم (٨,٢).

ويلاحظ من الشكل رقم (٨,٢) - بالمقارنة بالشكل رقم (٨,١) - أن الفرق الأكثر وضوحًا هو عدم تقاطع منحنيات التهوية الخاصة بكل من الحرارة والرطوبة مع



شكل (٨,٢). أقل معدلات تهوية محسوبة لكل من الاتزان الحراري والرطوبي لمبنى تربية خنازير ذي أرضية مثقبة بالقرب من مدينة لافاييت بولاية أنديانا. تم تهيئة الظروف الداخلية عند ١٢ °م ورطوبة نسبية ٧٥٪ ورطوبة نسبية خارجية ٨٠٪.

بعضها البعض. وهكذا نجد أن التهوية الخاصة بالاتزان الحراري عند كل درجات الحرارة الخارجية أكبر من تلك الخاصة بالاتزان الرطوبي، ولن يحدث أي تراكم للرطوبة داخل المبنى. ويزداد معدل التهوية لمبنى ذي أرضية مثقبة إلى حوالي ٣٢٪ عند -٢٠ °م عن المطلوب بالنسبة لمبنى ذي أرضية صلبة. ويقل هذا الفرق إلى حوالي ٢٤٪ عند ٥ °م.

ويبين الجدولان رقمي (١ ,٨) و (٢ ,٨) أيضًا طريقة أخرى لإيجاد تأثير درجة الحرارة الخارجية المتغيرة على أقل معدلات التهوية، وذلك بالنسبة للتخلص من كل من الحرارة أو الرطوبة. ويمكن استخدام القيم الجدولية عند مدى من درجات الحرارة الداخلية ١٠ °م ورطوبة نسبية ٧٥٪. وتوضح صفوف الجدول فرق درجة الحرارة (ti - to) في المدى من ٢٠ إلى ٤٠ °م. وتحتوي رؤوس الأعمدة على قيم الحرارة المحسوسة المفقودة (SHL) أو الرطوبة المتولدة (MP). ومدون بالجدول رقم (١ ,٧) قيم لكل من (SHL وMP) بالنسبة للعديد من حيوانات المزرعة وعند أحجام

مختلفة. ويوجد بالجدول رقم (٢ , ٧) أيضًا نتائج مماثلة بالنسبة للدواجن.

مثال رقم ٦

اوجد باستخدام الجدولين رقمي (١ , ٨) و(٢ , ٨) أقل معدل تهوية مطلوب للتخلص من كل من الحرارة المحسوسة و الرطوبة لعدد ٥٠٠ حيوان زنة ٧٥ كجم للحيوان الواحد، وذلك باستخدام ظروف المثال رقم ١.

الحل

القيمة الخاصة بالتخلص من الحرارة المحسوسة اللازمة للتحكم في درجة الحرارة – كما هي مدونة في الفصل السابع – هي (SHL = 1.74 W/kg pig). ونجد – بإمعان النظر في الجدول رقم (١ , ٨) بين الأعمدة ٦ , ١ و٨ , ١ واط/ كجم عند فرق درجة حرارة يعادل ٢٨ ° م – أن معدل التهوية للتخلص من الحرارة ٥١ (م^{3} / ث. جيجا جم)، أي أن:

$$Vs = 51(m^3/s.Gg)*75(kg/pig)*(500(pigs) = 1.91\ m^3/s$$

حيث جيجا جم = ١٠^{9}جم

وبناءً على فرض هامش الجدول رقم (١ , ٨)، نجد أن هناك ٢٠٪ من الحرارة تفقد خلال المبنى المستخدم و٨٠٪ مع هواء التهوية، وعلى ذلك فإن:

$$Vs = 1.91*(80/100)=1.62\ m^3\ /s$$

والرطوبة المتولدة من الفصل السابع هي (MP = 1.17 (gH2O/kg.h). وبالمثل نجد – بتدقيق النظر بين الأعمدة ١ و٢ , ١ (جم ماء/ كجم. ساعة) وفي الصف عند فرق درجة حرارة مقداره ٢٨ ° م – أن معدل التهوية المطلوب للتخلص من الرطوبة ٤٣ م^{3}/ (ث. جيجا جرام) أي أن:

$$Vl = 43(m^3/s.Gg)*75(kg/pig)*(500(pigs) = 1.61\ m^3/s$$

ويجب مقارنة معدلي التهوية المتحصل عليهما من هذا المثال بتلك المتحصل عليها من المثال رقم ١. ويلاحظ عدم تغير معدلات التهوية للتخلص من الرطوبة؛ نظراً لاستخدام نفس القيم في كل من المثالين. وغالبًا مايختلف معدل التهوية للتخلص من الحرارة – على حسب الجدول رقم (١ , ٨) – عن القيمة المحسوبة بناءً على تقدير الجزء من الحرارة المحسوسة المفقودة خلال المبنى وغير المتضمنة مع هواء

جدول (٨,١). أقل معدلات تهوية مستمرة للتخلص من الحرارة المحسوسة

حُسبت القيم الجدولية من المعادلة رقم (٨,١٠) باستخدام المعلومات التالية :

v = ٠,٨٢ م٣/ كجم هواء جاف ؛ تتغير قيم (SHL) من ١,٠ إلى ٦,٠ واط/ كجم، (انظر الجدولين رقمي (٧,١) و(٧,٢) بالنسبة لقيم (SHL) ؛ اهملت قيم UA* ؛ تتغير قيم (ti - to) من ٢٠ إلى ٤٠°م. وحدات معدلات التهوية المستخدمة في الجدول م٣/ (ث. جيجاجم من وزن الحيوان). ولحساب أقل معدل تهوية، تضرب القيمة الجدولية في وزن الحيوان الكلي.

(ti - to) °C	الحرارة المحسوسة المفقودة (SHL) ، واط/كجم													
	١,٠	١,٢	١,٤	١,٦	١,٨	٢,٠	٢,٢	٢,٤	٢,٦	٣,٠	٣,٥	٤,٠	٥,٠	٦,٠
٢٠	٤١	٤٩	٥٧	٦٦	٧٤	٨٢	٩٠	٩٣	١٠٧	١٢٣	١٤٤	١٦٤	٢٠٥	٢٤٦
٢٢	٣٧	٤٥	٥٢	٦٠	٦٧	٧٥	٨٢	٨٩	٩٧	١١٢	١٣٠	١٤٩	١٨٥	٢٢٤
٢٤	٣٤	٤١	٤٨	٥٥	٦٢	٦٨	٧٥	٨٢	٨٩	١٠٣	١٢٠	١٣٧	١٧١	٢٠٥
٢٦	٣٢	٣٨	٤٤	٥٠	٥٧	٦٣	٦٩	٧٦	٨٢	٩٥	١١٠	١٢٦	١٥٨	١٨٩
٣٠	٢٧	٣٣	٣٨	٤٤	٤٩	٥٥	٦٠	٦٦	٧١	٨٢	٩٦	١٠٩	١٣٧	١٦٤
٣٢	٢٦	٣١	٣٦	٤١	٤٦	٥١	٥٦	٦٢	٦٧	٧٧	٩٠	١٠٣	١٢٨	١٥٤
٣٤	٢٤	٢٩	٣٤	٣٩	٤٣	٤٨	٥٣	٥٨	٦٣	٧٢	٨٤	٩٥	١٢١	١٤٥
٣٦	٢٣	٢٧	٣٢	٣٦	٤١	٤٦	٥٠	٥٥	٥٩	٦٨	٨٠	٩١	١١٤	١٣٧
٤٠	٢١	٢٥	٢٩	٣٣	٣٧	٤١	٤٥	٤٩	٥٣	٦٢	٧٢	٨٢	١٠٣	١٢٣

م٣/ (ث. جيجاجم) = $SHL*0.82*10^3$

* يمكن عند الرغبة حساب القيمة UA(ti - to)(kg of animal(or bird) weight) بالنسبة لمنشأة فعلية وإنقاصها من قيمة (SHL) قبل استخدام الجدول. ويعتبر خفض قيمة (SHL) بمقدار ٢٠٪ تقدير جيد لتأثير الفقد (UA) بالنسبة للمباني ذات العزل الجيد.

التهوية. ومن النواحي العملية يعتبر التوافق بين القيمتين كافيًا ؛ نظرًا لوجود أجهزة التدفئة في أحجام محددة.

ويمكن عمل مقارنة أخرى للنتائج من الجدولين رقمي (٨,١) و(٨,٢) مع معدلات التهوية القياسية المقترحة من Midwest Plan Service (MWPS). ويُبين الجدول رقم (٨,٣) تعديلاً لمعدلات التهوية الموصى باستخدامها من (MWPS). فأقل معدل تهوية لعدد ٥٠٠ خنزير زنة ٧٥ كجم للواحد ٢,٨٥ م٣/ ث. فإذا ما تم استخدام معدلات التهوية الخاصة بالـ (MWPS)، نجد أنه يمكن إهمال الفرق بين

جدول (٨,٢). أقل معدلات تهوية مستمرة للتخلص من الرطوبة

حُسبت القيم الجدولية من المعادلة رقم (٨,١٢) باستخدام المعلومات التالية؛ ٧ = ٠,٨٢ م[٣] / كجم هواء جاف؛ MP = الرطوبة المتولدة بوحدات (جم ماء/ كجم. ساعة)/ ٣,٦، (انظر الجدولين رقمي (٧,١) و(٧,٢)؛ بفرض قيمة Wi مقدارها ٠,٠٠٧٥ (كجم ماء/ كجم. ساعة هواء جاف) صالحة في المدى من ١٠ °م و ٩٠٪ رطوبة نسبية إلى المدى ١٥ °م ورطوبة نسبية ٧٥٪؛ و تتغير قيمة Wo بين ٠,٠٠٠٣ (كجم ماء/ كجم هواء جاف) – عند – ٢٥ °م و ٨٠٪ رطوبة نسبية – و ٠,٠٠٢ (كجم ماء/ كجم هواء جاف) – عند – ٥ °م و ٨٠٪ رطوبة نسبية. وحدات التهوية المستخدمة م[٣]/ (جيجا جم من وزن الحيوان). ولإيجاد معدل التهوية، تضرب القيمة الجدولية في وزن الحيوان الكلي.

ti - to	Wi - Wo	الرطوبة المتولدة، MP ، جم ماء/ كجم. ساعة								
° C	kg H2O/kg DA	٠,٦	١,٠	١,٢	١,٦	١,٨	٢,٠	٢,٤	٢,٨	٣,٠
٢٠	٠,٠٠٥٥٠	٢٥	٤١	٥٠	٦٦	٧٥	٨٣	٩٩	١٠٨	١٢٤
٢٢	٠,٠٠٥٦٧	٢٤	٤٠	٥٦	٦٤	٧٢	٨٠	٩٦	١١٢	١٢١
٢٤	٠,٠٠٥٨٤	٢٣	٣٩	٤٧	٦٢	٧٠	٧٨	٩٤	١٠٩	١١٧
٢٦	٠,٠٠٦٠١	٢٣	٣٨	٤٥	٦١	٦٨	٧٦	٩١	١٠٦	١١٤
٢٨	٠,٠٠٦١٨	٢٢	٣٧	٤٤	٥٩	٦٦	٧٤	٨٨	١٠٣	١١١
٣٠	٠,٠٠٦٣٥	٢٢	٣٦	٤٣	٥٧	٦٥	٧٩	٩٣	١٠٠	١٠٨
٣٢	٠,٠٠٦٥٢	٢١	٣٥	٤٢	٥٦	٦٣	٧٠	٨٤	٩٨	١٠٥
٣٤	٠,٠٠٦٦٩	٢٠	٣٤	٤١	٥٤	٦١	٦٨	٨٢	٩٥	١٠٢
٣٦	٠,٠٠٦٨٥	٢٠	٣٣	٤٠	٥٣	٦٠	٦٦	٨٠	٩٣	١٠٠
٤٠	٠,٠٠٧٢٠	١٩	٣٢	٣٨	٥١	٥٧	٦٣	٧٦	٨٩	٩٥

Wi-Wo=0.0038 + 0.00085(ti-to)

م[٣]/ (ث . جيجاجم)= 0.82(Mp)/(3.6*(0.0038+0.00085*(ti-to)))

معدلات التهوية المحسوبة من المثال رقم ١ والمتحصل عليها من المثال رقم ٦ . ويُناقش المقطع الأخير من هذا الفصل استخدام القيم المعدلة بواسطة (MWPS) في الجدول رقم (٨,٣).

مثال رقم ٧.

اوجد باستخدام الجدولين رقمي(٨,١) و(٨,٢) أقل معدل تهوية مستمر للتخلص من كل من الحرارة والرطوبة لعدد ٦٠٠٠ دجاجة زنة ٢,١ كجم للواحدة

من داخل منزل دجاج بالقرب من الشمال الشرقي لولاية إنديانا. علمًا بأن درجة الحرارة المرغوبة ودرجة الحرارة التصميمية الخارجية هما ١٨ و - ١٥° م على الترتيب.

الحل

فرق درجة الحرارة = ١٨ - (-١٥) = ٣٣° م

وقيمة (SHL) من الجدول رقم (٢، ٧) = ٩، ٣ واط/ كجم، إذن؛

Vs = (٨٠٪)×٩٧(م٣/ ث. جيجاجم)×١، ٢(كجم/ طائر)×٦٠٠٠(طائر)

= ٠، ٩٨ (م٣/ ث)

وقيمة MP (م٣/ ث) من الجدول رقم (٢، ٧) = ٩، ٢ جم ماء/ (كجم. ساعة)، إذن؛

Vl = ١٠٠ (م٣/ ث. جيجاجم)×١، ٢(كجم/ طائر)×٦٠٠٠(طائر)

= ١، ٢٦ (م٣/ ث).

وأقل معدل تهوية يوصى باستخدامه بناءً على ظروف المثال رقم ٧ هو ١، ٢٦ م٣/ ث (على أساس التخلص من الرطوبة). ونظرًا لأن معدل التهوية للتخلص من الرطوبة أكبر من المعدل اللازم للتخلص من الحرارة، فإن المطلوب هو إضافة حرارة للمبنى، والتي يمكن حساب قيمتها باستخدام الطريقة الموضحة في المثال رقم ٢. ومن الضروري أيضًا توافر معلومات عن بيوت الدواجن حتى يتسنى إجراء الحسابات. وأقل قيمة يوصى باستخدامها بواسطة (MWPS) ١، ٤٤ (م٣/ ث)، وذلك كما هو موضح في الجدول رقم (٣، ٨). ويتيح الاختلاف بين القيمتين (حوالي ١٥٪) مدى للاختيار بالنسبة للعناصر ذات السعات المحددة، وذلك حتى يتم الإيفاء بالأغراض التصميمية.

تأثير الأساليب الإدارية واختيار مادة العازل وكثافة تربية الحيوانات

(Effect of Management Practices, Building Insulation, and Animal Stocking Density)

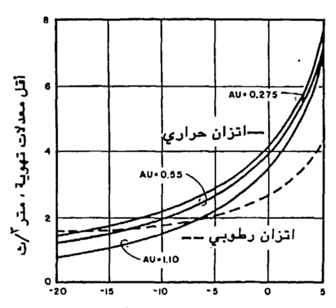
يمكن تقييم الأساليب الإدارية المتعددة والبدائل المختلفة بالنسبة لكل من استخدام المواد العازلة في المباني وكثافة تربية الحيوانات عن طريق إجراء حسابات مماثلة لما تم إنجازه في الفقرة السابقة، وكذلك عن طريق رسم منحنيات مماثلة للشكلين رقمي

جدول (٨,٣). معدلات تهوية قياسية بالنسبة لمباني الإنتاج الحيواني*

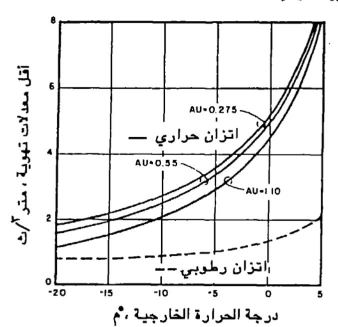
النوع	الوحدات	معدل التهوية، م³/ث أقل (شتاء)	متوسط (خريف- ربيع)	أقصى (صيف)
الدواجن				
كتاكيت		٠,٠٤٧/طائر	٠,١١/كجم	٠,٢١/كجم
دجاج بياض				
دجاج لاحم	/ طائر	٠,٢٤	٠,٩٤	١,٩
ماشية حلابة				
بقر في حظائر دافئة	/ ٤٥٠ كجم	١٢	٤٧	١٤٠-٢٤٠
عجول في حظائر	/ ٤٥ كجم	٤,٧	١٢	٢٤
ماشية لحم				
بقر في أماكن دافئة	/ ٤٥٠ كجم	٧,١	٤٧	٩٤

* تم التطوير من (MWPS, 1981)

(٨,١) و(٨,٢). فعلى سبيل المثال، نفترض أن هناك تحسينًا جذريًا للعازل المستخدم في مبنى بنسبة ٥٠٪ (أي أن قيمة U قد خُفضت إلى النصف)، أو أن قيمة العازل قد انخفضت - أي أن قيمة U قد تضاعفت- وسوف ينتج عن ذلك تغيّرات كما هو موضح في الشكل رقم(٨,٣). فسوف يتحسن أداء المبنى بزيادة المواد العازلة إذا كان المبنى ذا أرضية صلبة؛ نظرًا لأن نقطة تقاطع منحنيات التهوية الخاصة بكل من الحرارة والرطوبة قد زُحزحت إلى -١٦° م بالمقارنة بالقيمة -١٢° م والموضحة في الشكل رقم (٨,١). وفي عبارة أخرى نجد أن المطلوب هو الحصول على درجات حرارة منخفضة قبل زيادة معدل التهوية الخاص بالاتزان الرطوبي عن معدل التهوية المطلوب للاتزان الحراري. وبالعكس، فإن الإقلال من استخدام المواد العازلة سوف ينتج عنه انخفاض في أداء المبنى؛ نظرًا لأن تقاطع المنحنيات سوف يتزحزح إلى درجة حرارة خارجية مقدارها -٦ ° م. ونظرًا لثبات الرطوبة المتولدة، فإن تغير مستوى العازل لن يحدث أي تغيير في منحنى التهوية الخاص بالرطوبة.



شكل (٨,٣). تأثير استخدام مستويات مختلفة من عازل (UA) على أقل معدلات تهوية لمبنى خنازير ذي أرضية صلبة يقع بالقرب من مدينة لافاييت بولاية أنديانا. تم تهيئة الظروف الداخلية عند ١٢ °م ورطوبة نسبية ٧٥٪ ورطوبة نسبية خارجية ٨٠٪.

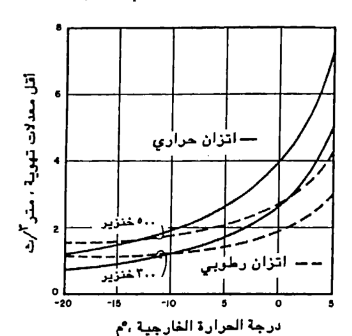


شكل (٨,٤). تأثير استخدام مستويات مختلفة من عازل (UA) على أقل معدلات تهوية لمبنى خنازير ذي أرضية مثقبة يقع بالقرب من مدينة لافاييت بولاية أنديانا. تم تهيئة الظروف الداخلية عند ١٢ °م ورطوبة نسبية ٧٥٪ ورطوبة نسبية خارجية ٨٠٪.

وقد يحدث شيء خارج عن القياس بالنسبة لمنحنيات التهوية الرطوبية والحرارية، وذلك عند استخدام مستويات مختلفة من المادة العازلة لمبنى ذي أرضية مثقبة، الشكل رقم (٤ ,٨). فنجد أن منحنى التهوية الواجب استخدامه هو للتحكم في درجة الحرارة. وهكذا فإن إضافة مواد عازلة أخرى للمبنى سوف تؤدي إلى إعاقة سريان الحرارة من المبنى؛ مما يؤدي إلى زيادة معدل التهوية الضروري للمحافظة على درجة الحرارة الداخلية المرغوبة. ويلاحظ أن التكلفة لن تكون في قيمة العازل المضاف فقط، بل أيضًا في زيادة تكلفة نظام التهوية. وبالعكس، فإن الإقلال من مستوى المادة العازلة المستخدمة في مبنى ذي أرضية مثقبة سوف يسمح بتسرب حراري إلى خارج المبنى، الأمر الذي قد يؤدي إلى الإقلال من معدل التهوية المستخدم. وقد يؤدي هذا الخفض إلى توفير مضاعف. فزيادة القيمة (UA) للمبنى إلى ١,٥٤ (واط/°م) سوف تؤدي إلى زحزحة نقطة التقاطع بين منحنيات التهوية الخاصة بالتحكم في الحرارة والرطوبة عند درجة حرارة إما أعلى أو أقل.

ويمكن أيضًا توضيح تأثير كثافة التربية باستخدام منحنيات التهوية الخاصة بكل من الحرارة والرطوبة. فعلى سبيل المثال، نفترض أن عدد الحيوانات في المثال رقم ١ قد خُفّض من ٥٠٠ إلى ٣٥٠، فإن الناتج – عند إعادة حساب معدلات التهوية– يصبح كما في الشكل رقم (٥ ,٨). فيكون معدل التهوية المطلوب في تلك الحالة أقل بالنسبة لكلٍ من الاتزان الحراري والرطوبي. والشيء الأكثر أهميةً هو تغير نقطة التقاطع لمنحنيات التخلص من الحرارة والرطوبة. فنجد أن نقطة التقاطع عند استخدام عدد أقل من الحيوانات تحدث عند حوالي –١٠°م بالمقارنة بدرجة الحرارة –١٢°م مع استخدام أعداد أكبر من الحيوانات. ويتضح من ذلك تحسن أداء منشآت الإنتاج الحيواني عند إمتلائها بالحيوانات. وقد أوضحت تحليلات مماثلة أن استخدام حيوانات ذات أحجام كبيرة سوف يؤدي إلى نفس النتائج. ويلاحظ من الجدول رقم (١ ,٧) أن العلاقة بين الحرارة والرطوبة المتولدة من الحيوان كدالة على الوزن ليست علاقة خطية.

وقد أوضحت التحليلات وجوب توخي الحذر عند حساب أقل معدل تهوية مستمر، الأمر الذي قد يؤدي إلى نتائج عكسية عند التطبيق العملي. ولابد من دراسة



شكل (٨,٥). تأثير استخدام مستويان من كثافة التربية على أقل معدلات تهوية لمبنى خنازير ذي أرضية صلبة يقع بالقرب من مدينة لافاييت بولاية أنديانا. تم التحكم في الظروف الداخلية عند ١٢ °م ورطوبة نسبية ٧٥٪ ورطوبة نسبية خارجية ٨٠٪.

التغيرات المصاحبة لاستخدام الأساليب الإدارية المختلفة بالإضافة إلى تقييم كل من مستوى العازل المستخدم وكثافة التربية؛ لما قد تسببه تلك العوامل من تغيرات جذرية عند افتراض قيم لكل من الحرارة والرطوبة المتولدة. ويلاحظ أنه إذا ماتم حساب أقل معدل تهوية مستمر باستخدام معادلة الاتزان الرطوبي بالنسبة لكثافة تربية مرتفعة أو باستخدام حيوانات كبيرة، فإن استخدام هذا المعدل يعتبر كبيراً جداً بالنسبة لكثافة تربية منخفضة أو في حالة وجود حيوانات صغيرة داخل المبنى. وفي الغالب ما سيكون لتلك الزيادة تأثير عميق على كمية الطاقة المطلوب إضافتها للمحافظة على درجة الحرارة المختارة. فقد يؤدي استخدام معدل تهوية ١,٥ مرة أكبر من المطلوب للتخلص من الرطوبة إلى مضاعفة الطاقة المستهلكة بالنسبة للحرارة المضافة أربع مرات. ولذلك فإنه لابد من حساب أقل معدلات تهوية مستمرة أينما حدث تغيرات سواء بالنسبة لكثافة التربية أو حجم الحيوانات مع أخذ التدابير اللازمة للحصول على تلك المعدلات. ويتضمن الفصل التاسع اقتراحات إضافية بهذا الخصوص.

معدل التهوية المتوسط (Medium Ventilation Rate)

من الضروري زيادة معدل التهوية إلى مستويات أعلى من " أقل مستوى تهوية مستمر " في حالة ما إذا كانت درجة الحرارة الخارجية أعلى من أقل درجة حرارة تصميمية خارجية في أيام الشتاء الدافئة أو أثناء شهور الربيع والخريف، وذلك للمحافظة على الظروف الداخلية المرغوبة. ويتم عمليًا الحصول على تلك المعدلات عن طريق حس درجة الحرارة الداخلية باستخدام أجهزة الحس الحراري، حيث تتم زيادة معدل التهوية عند ارتفاع درجة الحرارة الداخلية. ويتم الحصول على معدل التهوية المتوسط باستخدام أحد معادلتي الاتزان الحراري المحسوس، وذلك كما في المعادلتين رقمي (٩ ,٨) و(١٠ ,٨). وسوف تزداد درجة الحرارة الداخلية في الأيام الدافئة عند حساب أقل معدل تهوية إلى مستوى أعلى من درجة الحرارة التصميمية الداخلية المختارة. وهكذا يتم اختيار ثاني أعلى درجة حرارة تصميمية داخلية. وغالبًا مايتم اختيار تلك الدرجة لتكون تقريبًا من ٨ إلى ١٠ °م أعلى من أقل درجة حرارة تصميمية داخلية. ويتم حساب معدل التهوية الذي سوف يحافظ على هذا الاختيار عند تغير درجة الحرارة الخارجية من ٣ إلى ١٠ °م. ويمكن الحصول على تلك الزيادة في معدل التهوية باستخدام مراوح ذات سعات متغيرة يتم التحكم فيها بواسطة جهاز حس حراري. ويمكن أيضًا الحصول على نتائج مماثلة باستخدام معدل تهوية ثابت مع ترك درجة الحرارة الداخلية تتذبذب كدالة في درجة الحرارة الخارجية.

مثال رقم ٨.

احسب معدل التهوية المتوسط لمبنى ذي أرضية مثقبة يحتوي على ٥٠٠ حيوان كما في المثال رقم ٣. افترض درجة حرارة تصميمية ثانوية مقدارها ٢٠ °م وأن فرق درجة الحرارة بين الداخل والخارج سوف يتغير من ٣ إلى ١٠ °م.

الحل

معدل التهوية للتحكم في درجة الحرارة باستخدام المعادلة رقم (١٠ ,٨) :

$$Vs = [v/(Cp(ti-to))][Qs-UA(ti-to)]$$

وقيمة (Qs) عند ٢٠ °م ووزن للحيوان مقداره ٧٥ كجم:

= ١٢٦ ,٠(ك. واط/ حيوان) × ٥٠٠ (حيوان)

= ٦٣ ك . واط

ونجد من الخريطة السيكرومترية أن قيمة (٧) عند ٢٠ °م و ٧٥٪ رطوبة نسبية :

= ٠,٨٤٥ م٣/ كجم

ونجد بالنسبة لفرق درجة حرارة مقداره ١٠ °م أن :

Vs = (١٠×٠,٥٥ − ٦٣)((١٠×١,٠٠٣٥)\٠,٨٤٥)

= ٤,٨٤ (م٣/ث)

وبالمثل

(ti - to)	١٠	٩	٨	٧	٦	٥	٤	٣
Vs	٤,٨٤	٥,٤٣	٦,١٧	٧,١٢	٨,٣٨	١٠,١	١٢,٨	١٧,٢

ويوضح الشكل رقم (٦ ,٨) تلك النتائج .

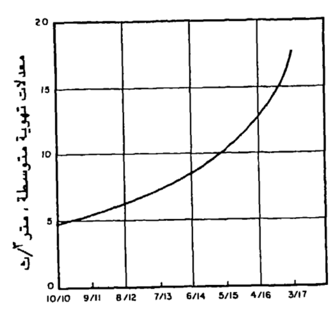
مثال رقم ٩ .

احسب درجة الحرارة الخارجية الناتجة عن استخدام عدة درجات حرارة داخلية مختارة ، وذلك بفرض استخدام معدل تهوية متوسط مقداره ١٧ , ٦ (م٣/ ث) كما في المثال السابق .

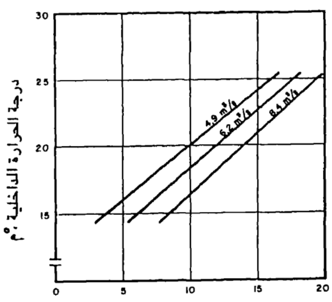
الحل

المطلوب في هذا المثال استخدام حل تكراري للمعادلة رقم (١٠ ,٨) بالنسبة لفرق درجة الحرارة المطلوب .

ti	١٥	١٧,٥	٢٠	٢٢,٥	٢٥
v	٠,٨٢٥	٠,٨٣٥	٠,٨٤٥	٠,٨٥٥	٠,٨٦٥
Qs	٧٢	٦٧,٥	٦٣	٥٩,٠	٥٥
ti-to	٨,٩٤	٨,٤٨	٨,٠	٧,٥٧	٧,١٤
to	٦,٠٦	٩,٠٢	١٢,٠	١٤,٩	١٧,٩



شكل (٨,٦). معدلات التهوية المتوسطة لفصلي الخريف/الربيع لمبنى خنازير ذي أرضية صلبة يقع بالقرب من مدينة لافاييت بولاية أنديانا. تم التحكم في درجة الحرارة الداخلية عند ٢٠ °م.



شكل (٨,٧). درجة الحرارة الداخلية كدالة في درجة الحرارة الخارجية لثلاث معدلات تهوية ثابتة (خريف/ربيع) لمبنى خنازير ذي أرضية صلبة يقع بالقرب من مدينة لافاييت بولاية أنديانا. وترتبط معدلات التهوية المختارة بالشكل رقم (٨,٦) عند درجة حرارة داخلية ٢٠ °م.

ويوضح الشكل رقم (٨,٧) النتائج المتحصل عليها من المثال رقم ٩. وقد أوضحت النتائج أنه يمكن أن يتولد عن معدل تهوية متوسط مقداره ٦,١٧ (م٣/ث) درجات حرارة داخلية مقبولة في المدى من ١٥ إلى ٢٥ °م، وذلك عند استخدام درجات حرارة خارجية تقع ما بين ٦ و١٨ °م. ويلاحظ أن سعة التهوية المطلوب استخدامها عند درجة حرارة خارجية ١٧ °م تكون حوالي ثلث الكمية المتحصّل عليها من المثال رقم ٨ والشكل رقم (٨,٦) حيث درجة الحرارة الثابتة الداخلية المطلوبة ٢٠ °م.

ويمكن استخدام منحنيات الاتزان الحراري والرطوبي التي تم تطويرها في المثال رقم ٤ وترسيمها في الشكل رقم (٨,١) عند اختيار معدل تهوية متوسط. فنجد على سبيل المثال عند فرض معدل تهوية متوسط مقداره (٨ م٣/ث) أن هذا المعدل يُحافظ على الاتزان الحراري عند درجة حرارة خارجية ٦ °م من درجة الحرارة الداخلية (١٢-٦ = ٦°م). كما أنه يمكن فرض مستويات أخرى من التهوية في حالة ما إذا اعتبر أن هذا المستوى من فرق درجة الحرارة كبير للتحكم في درجة الحرارة في فصلي الربيع والخريف. ويعتبر هذا التحليل صالحًا فقط عند عدم تغير درجة الحرارة التصميمية الداخلية عن تلك المستخدمة في الحسابات الخاصة برسم المنحنيات. ولكن لن يكون الخطأ كبيراً في تقدير فرق درجة الحرارة بالنسبة لمدى من درجات الحرارة التصميمية الداخلية حوالي ١٠ °م. ويمكن رؤية ذلك في المثال رقم ٩ حيث يتغير فرق درجة الحرارة (ti - to) فقط من ٨,٩ °م إلى ٧,١ °م مع استخدام معدل تهوية ثابت وعندما تتغيّر درجة الحرارة الداخلية من ١٥ إلى ٢٥ °م.

أقصى معدل تهوية (Maximum Ventilation Rate)

يجب زيادة معدلات التهوية في فصل الصيف وفي الفترات التي تكون فيها درجات الحرارة الخارجية أعلى من تلك المستخدمة مع معدل التهوية في فصلي الربيع والخريف. وتكون الزيادة المطلوبة في سعة التهوية أكثر اقتصاديًا إذا ما تم الحصول عليها عن طريق الفتح اليدوي لحواجز تهوية كبيرة والاعتماد على التهوية الطبيعية. ويجب استخدام مراوح إضافية عند الرغبة في استخدام التهوية الميكانيكية. ويتم حساب السعة الهوائية الإضافية باستخدام المعادلة رقم (٨,١٠) بنفس الأسلوب

المستخدم للحصول على معدل تهوية متوسط في المثال رقم ٨ . وهناك طريقتان للحساب يمكن استخدام إحداهما . وتكون الطريقة الأولى عن طريق فرض فرق مقبول بين كل من درجة الحرارة الداخلية والخارجية . ويفترض على نحو نموذجي فرق درجة حرارة مقداره من ١ إلى ٣ °م ليكون أكثر قبولاً في الصيف .

وتكون الطريقة الأخرى عن طريق إيجاد الارتفاع في درجة الحرارة داخل مبنى بالنسبة لدرجة حرارة صيفية مختارة باستخدام معدلات تهوية متعددة . ويمكن اختيار معدل تهوية مقبول عن طريق رسم العلاقة بين الارتفاعات في درجة الحرارة مع معدلات التهوية .

مثال رقم ١٠

احسب أقصى معدل تهوية لمبنى سعة ٥٠٠ حيوان ذي أرضية خرسانية كما في المثال رقم ١ . افترض درجة حرارة تصميمية خارجية مقدارها ٣٠ °م مع رطوبة نسبية ٦٠٪ . افترض أيضاً أن حجم البيت ١٠٠٠ م^{3} .

الحل

تستخدم المعادلة رقم (١٠ , ٨) بعد تعديلها لحساب فرق درجة الحرارة كالآتي :

$$(ti-to) = (v.Qs)/(Vs.Cp +v.UA)$$

ويمكن التنبؤ بقيمة (SHL) من الجدول رقم (١ , ٧) عند ٣٠ °م و ٧٥ كجم كالآتي :

SHL = ٥ , ٠ واط\كجم

Qs = ٥ , ٠(واط\كجم)×٧٥(كجم\حيوان)×٥٠٠ (حيوان)

= ١٨ , ٨ كيلوواط

والحجم النوعي (v) – من الخريطة السيكرومترية– عند درجة حرارة٣٠ °م و٦٠٪ رطوبة نسبية ٨٨ , ٠ (م^{3}/ كجم) .

ونجد بالنسبة لمعدل التهوية ٢٥ , ٠ تغيّر هوائي/ دقيقة – أو واحد تغيّر حجمي لكل ٤ دقائق – أن :

Vs = (١٠٠٠ م^{3}\٤ دقائق)×١(دقيقة\٦٠ ث)

= ١٧ , ٤ (م^{3}\ث)

(ti - to) =(١٨ , ٨×٠ , ٨٨)\(١٧ , ٤×٠٠٣٥ , ١+ ٨٨ , ٠×٥٥ , ٠)

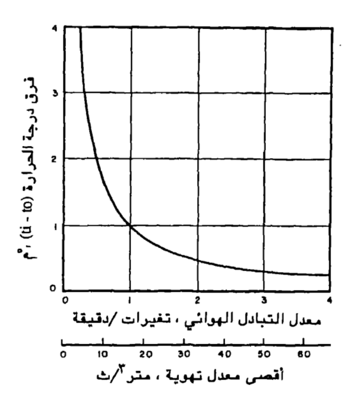
= ٦ , ٣ °م

وبالمثل نجد بالنسبة لمعدلات التهوية الأخرى :

	معدلات التغيّر الهوائي				
	٠,٢٥	٠,٥	١,٠	٢	٤
ti-to	٣,٦	١,٩	٠,٩٦	٠,٤٩	٠,٢٥

ويوضح الشكل رقم (٨,٨) بيانيًا تلك النتائج . ويتضح من الشكل أن الزيادة المناظرة لفرق درجة الحرارة عند سعة تهوية أقل من واحد (تغيّر حجمي على الدقيقة) تكون كبيرةً نسبيًا . والعكس صحيح عند استخدام معدل تهوية أعلى من واحد تغير حجمي في الدقيقة ، ولكن مع بعض التحسينات الطفيفة في فرق درجة الحرارة وخاصةً بالنسبة للتغيّرات الكبيرة في سعة التهوية . ونجد بالنسبة لهذا المثال أن أفضل مستوى مرغوب من التهوية الصيفية يكون في حدود واحد تغير حجمي في الدقيقة . ويُحافظ هذا المعدل على درجة الحرارة الداخلية في حدود ١ °م تقريبًا بالنسبة لدرجة حرارة الجو . ويعتبر معدل تغيّر هوائي مقداره ٠,٣٣ في الدقيقة كافيًا للمحافظة على ظروف داخلية في حدود ٣° م أعلى من درجة الحرارة الخارجية . ولكن ، قد تتيح أي زيادة طفيفة في سعة التهوية عن هذا المستوى إلى تولّد تأثير إيجابي على مستوى درجة الحرارة ، وقد يوصى بذلك . ويوصى أيضًا بالنسبة لهذا المثال باستخدام سعة تهوية في حدود ما بين ٠,٧٥ و١,٢ تغيّر حجمي في الدقيقة أو من ١٣ إلى ٢٠ (م^{٣}/ ث).

ويمكن تقييم تأثير كثافة التربية والأساليب الإدارية وبدائل استخدامات المواد الإنشائية للمباني على حساب أقل معدل تهوية ، وذلك عن طريق الطرق التحليلية التي تم وصفها . ونظراً لصغر فرق درجات الحرارة بين الداخل والخارج ، فإن مدى كفاءة العازل المستخدم في المبنى ليس ذا أهمية معنوية في فصل الصيف كما في الظروف الجوية الباردة .



شكل (٨,٨). فرق درجة الحرارة بين الداخل والخارج لمعدلات تبادل هوائي مختلفة بالنسبة لـ ١٠٠٠ م٣ من مبنى خنازير يقع بالقرب من مدينة لافاييت بولاية أنديانا، يفترض ظروف خارجية ٣٠ م° ورطوبةنسبية٦٠٪.

معدلات تهوية قياسية

(STANDARDIZED VENTILATION RATES)

تعتبر التهوية الميكانيكية لمباني الإنتاج الحيواني المغلقة من الأساليب الشائعة الاستخدام لعدة عقود في الإنتاج الزراعي للولايات المتحدة. وقد أصبح بمرور الوقت اختيار كثافة التربية داخل المبنى وجودة الإنشاءات والأساليب الإدارية من العوامل المهمة التي تؤثر على معدل إنتاج كل من الحرارة والرطوبة. وقد أصبحت معدلات التهوية المطلوبة لمعظم المباني الزراعية قياسية ومدوّنة في (MWPS). ويحتوي الجدول رقم (٨,٣) على معدلات تهوية أساسية يوصى باستخدامها بالنسبة للأنواع والأحجام المختارة من الحيوانات. ويجب استخدام تلك المعدلات فقط للإرشاد وكنقطة بداية لإجراء تحليلات محددة، وذلك كما تم وصفه في هذا

الفصل. وتعتبر تلك المعدلات أيضًا قيم ممثلة فقط تتيح عند استخدامها التحكم بكفاءة في كل من الحرارة والرطوبة المتولّدتين داخل مبنى محدد. ويتطلب تقييم البدائل من مواد الإنشاء والأساليب الإدارية وكثافة التربية التطبيق للعلاقات المدونة في هذا الفصل بالنسبة لنظام إنتاجي محدد.

المراجع

1 ASAE. 1981-82. Agricultural Engineers Yearbook. ASAE Data 270.4, pp. 373-391.

2 ASHRAE. 1981. Handbook of fundamentals. Table 1, Chapter 6, pp. 6.3-6.4.

3 Bond, T. E., C. F. Kelly and H. Heitman, Jr. 1952. Heat and moisture loss from swine. AGRICULTURAL ENGINEERING 33(3):148-152.

4 Bond, T. E., C. F. Kelly and H Heitman, Jr. 1959. Hog house air conditioning and ventilation data. TRANSACTIONS of the ASAE 2(1):1-4.

5 Harmon, D. J., A. C. Dale and H. W. Jones. 1968. Effect of floor type on required moisture-vapor removal rate from swine finishing houses. TRANSACTIONS of the ASAE 11(1):149-152.

6 Midwest Plan Service (MWPS). 1980. Structures and environment handbook. Ventilation applications, pp. 373-391.

الفصل التاسع

نظم تهوية منشآت الحيوانات المزرعية والدواجن*

(VENTILATION SYSTEMS FOR LIVESTOCK STRUCTURES)

• أساسيات تجهيزات عامة • مواضع تركيب وتشغيل تجهيزات التهوية • مراحل معدلات التهوية • نظم التهوية الطاردة • نظم التهوية الضاغطة • التهوية ذات الضغط المتعادل • نظم التهوية الطبيعية

تعتمد المحافظة على الظروف البيئية المرغوبة في مباني الحيوانات المزرعية والدواجن على تصميم وأداء نظم التهوية. ولابد وأن تُزوّد هذه النظم المعدلات الصحيحة من سريان الهواء في توزيع منتظم لمواجهة الاحتياجات لكل تطبيق على حدة. ويتطلب اختيار نظام تهوية صحيح فهم لأساسيات سريان الهواء المتضمن والاستجابات الفسيولوجية للحيوانات وتوصيات خاصة بنظم التحكم في التهوية وكذلك الاعتبارات الإدارية والاقتصادية. وتوجد هذه الأساسيات والتوصيات معنونة في فصول أخرى في هذا الكتاب. ويحتوي هذا الفصل على توصيات خاصة بتكامل هذه العوامل في أداء نظم التهوية مع بعض الأمثلة التوضيحية.

ويوجـــد نوعان من نظم التهوية المستخدمة في منشآت الحيوانات المزرعية والدواجن، فالتهوية إما أن تكون تهوية طبيعية أو ميكانيكية. ويمكن أخذ نظم التهوية الطبيعية في الاعتبار بالنسبة للأنواع الآتية من إيواء الحيوانات المزرعية

---

* ميلو أ. هيلكسون : جامعة ولاية داكوتا الجنوبية - بروكينس
بينام ل. دريجرس : جامعة ولاية كالورينا الشمالية - رالّيف
آرثر جـ. ميوهلينج : جامعة إيلينوي - آربانا

والدواجن[١]: (أ) الإيواء الحر للماشية الحلابة، (ب) حظائر المراعي للماشية الحلابة والأبقار والأغنام، (جـ)مباني نمو الخنازير، (د) حظائر العجول الصغيرة ، و(هـ) حظائر الأبقار ذات الأرضية المثقبة. وقد تتضمن تلك المباني استخدام التهوية الميكانيكية عند الرغبة في المحافظة على وسط دافيء والوصول إلى الظروف التالية: (أ) أرضية جافة أو فرشة جافة، أو الاثنين معًا، (ب) توزيع منتظم لدرجات الحرارة في كل المواضع التي توجد بها الحيوانات، (جـ) الإقلال من التغيّرات السريعة والتذبذبات الكبيرة في درجة حرارة الوسط، و(د) منع حركة الهواء البارد من المرور من فوق الحيوانات. وتتكون نظم التهوية الميكانيكية من مراوح وأجهزة تحكم، وفي الغالب أجهزة أخرى لتدفئة أو تبريد الوسط. وعامةً تستخدم هذه التجهيزات لتوليد سريان هوائي في اتجاه واحد خلال المنشأة مع خلط ودوران داخلي جيد لإتاحة المستويات المطلوبة والتوزيع الجيد للظروف البيئية على مدى واسع من الظروف المناخية.

وتوجد ثلاثة أنواع من نظم التهوية الميكانيكية التي تعتمد على الوسائل المستخدمة في الحصول على حركة الهواء: (أ) نظام الطرد، (ب) نظام الضغط، و(جـ)نظام الضغط المتعادل. وتستخدم نظم الطرد مراوح تسحب الهواء إلى خارج المبنى مما يُقلل من الضغط الداخلي، كما يحدث سريان للهواء من خلال فتحات التهوية. وتدفع نظم الضغط الميكانيكي الهواء إلى داخل المبنى ثم يخرج الهواء بعد ذلك من المخارج. وتتضمن نظم التهوية ذات الضغط المتعادل مراوح ذات أداء مزدوج بحيث تسحب لحظيًا الهواء الداخلي إلى الخارج، ثم تدفع الهواء النقي إلى داخل المبنى، مما يحدث فرق ضغط في نظام التهوية وليس في مبنى الحيوان.

أساسيات تجهيزات عامة

(GENERAL EQUIPMENT PRINCIPLES)

يمكن استخدام نظم التهوية الطبيعية والتي كثيراً ما تستخدم في الحالات التي تكون دقة تهيئة البيئة غير ذات ضرورة. ويمكن أن تستخدم مع منشآت الحيوانات من النوع ذات الواجهة المفتوحة أو النصف مغلقة. وتتضمن المركبات الرئيسية فتحات

إفريزية وحافية وألواح التهوية الحائطية وتجهيزات وأدوات التحكم لتعديل وضع فتحات التهوية مع تغيّر الظروف المناخية.

و تتضمن نظم التهوية الميكانيكية مراوح مع أجهزة تحكم آلية ووسائل تحكم في درجة الحرارة وساعات وقتية لإتاحة مستويات متعددة من سريان الهواء على حسب درجة الحرارة والعوامل الأخرى المطلوب تنظيمها. ويمكن على حسب ظروف التشغيل وحالة المناخ استخدام أجهزة أخرى مثل المبردات التبخيرية ومبردات الفريون والدفايات وأجهزة المحافظة على الطاقة كجزء مكمل للتهوية الميكانيكية. و قد نوقشت خصائص هذه الأجهزة في الفصل الرابع "وسائل وأجهزة التحكم في التهوية".

مواضع تركيب وتشغيل تجهيزات التهوية

(VENTILATION EQUIPMENT LOCATION AND OPERATION)

يجب تركيب مراوح الطرد بقدر الإمكان بعيداً عن الأبواب والشبابيك غير المحكمة الغلق، وبعيداً عن اتجاه الرياح الشتوية السائدة. أما إذا كان من الضروري – لأسباب إنشائية أو أي عوامل أخرى – تركيب المراوح في الجانب المواجه للرياح، فإنه من المهم اختيار مراوح ذات معدلات تغطي السعة المطلوبة ضد ضغط إستاتيكي ٣, سم (١\٨ بوصة). ويجب أن تزوّد المروحة بمحرك كهربائي ذي حجم كاف لمقاومة سرعة للرياح ١٣,٤ م/ ث (٣٠ ميل/ ساعة). وتعادل هذه السرعة ضغط استاتيكي ١,١ سم ماء (٤,٤٣ بوصة ماء) بدون التحميل الزائد عن سعة المحرك[٣].

و يجب أن يتم تركيب المروحة أيضًا في أبرد المواضع داخل المبنى. وقد تكون هذه المواضع الأماكن التي توجد بها أقل كثافة من الحيوانات أو الأماكن التي توجد بها الحيوانات الصغيرة. ويميل الهواء الدافيء عند تشغيل المروحة الطاردة إلى الاتجاه صوب المروحة ومنه إلى الخارج.

ولايعتبر وضع المروحة في الاتجاه الرأسي على الحائط الجانبي عاملاً مهمًا.

وفي الغالب يتم تركيب المراوح على ارتفاع عدة أقدام فوق مستوى الأرضية، وذلك للإقلال من المشاكل المرتبطة بفرشة الأرضية وريش الدواجن والقش المدفوع جهة المروحة، ومن رذاذ الماء المتطاير جهة المروحة أثناء تنظيف الأرضية. ولا يعتبر موضع تركيب المروحة حرجًا من وجهة نظر انتظامية التهوية الفعّالة.

وتعتبر مواضع تركيب المراوح مع نظم الضغط حرجة للغاية؛ نظرًا لارتفاع سرعة الهواء عند المروحة مع ضرورة أن يكون الهواء المدفوع إلى داخل المبنى منتظم التوزيع. وعلى ذلك يتوقف اختيار مواضع المراوح الضاغطة على نوع النظام. وسوف يتم مناقشة ذلك الموضوع بمزيد من التفاصيل في هذا الفصل.

و يوصى بتهوية الحيّز أسفل الأرضية المثقبة في حالة ما إذا كان المبنى يسمح بتخزين روث البهائم في خزان أسفل الأرضية. ومن الشائع استخدام مروحة صغيرة تعمل باستمرار في الشتاء لطرد هواء ذلك الحيز، وبالتالي التخلص من بعض الغازات الضارة، وكذلك المساعدة في التحكم في الروائح الكريهة. وتتم عملية طرد الغازات من خزان الروث بكفاءة أعلى في المباني الكبيرة حيث توجد أكثر من مروحة تعمل باستمرار حول الخزان[٤].

و يجب وضع الثرموستات وأجهزة الحس المستخدمة في التحكم في التهوية بالقرب من مركز المساحة المهواة. ويجب مراعاة عدم تعرض أجهزة التحكم لأي تلفيات، وذلك بوضعها في أماكن مناسبة. فيجب مثلاً عدم وضع أجهزة التحكم بالقرب من عوادم الدفايات والإضاءات وأنابيب المياه والتيارات الباردة أو على الحوائط الخارجية أو بالقرب من أي أجسام أخرى، بحيث يمكن أن تؤثر على الأداء. ونظرًا لوجود انحدار رأسي في توزيع درجة حرارة الهواء داخل المبنى، فإنه ينصح بوضع الثرموستات عند مستوى الحيوانات.

مداخل ومخارج الهواء (Air Inlets and Outlets)

يتوقف معدل التبادل الهوائي في مبنى ما على سعة التهوية. فتعتمد انتظامية توزيع الهواء - الفصل الرابع - بالنسبة للنظم الطاردة خلال مبنى ما أساسًا على

مكان وتصميم وحجم المداخل. ولا يوجد تأثير يذكر لموضع المروحة على توزيع هواء التهوية. وتستخدم فتحات المداخل في معظم نظم التهوية الطاردة حول محيط السقف باستثناء بالقرب من المروحة. و يوصي (MWPS)[4] باستخدام فتحة مدخل مستمرة بالقرب من السقف بطول أحد جوانب المباني التي يقل عرضها عن ١٢,٢ م - الشكل رقم (١ , ٩) - مع وجود المراوح مركبة على الجانب المقابل. و يجب استخدام فتحة مدخل مستمرة في مركز السقف مع وجود المراوح على جانبي الحوائط الجانبية بالنسبة للمباني ذات العرض من ١٢,٢ إلى ١٥,٢ م. و يتم تركيب مدخلي تهوية مستمرين في السقف بالنسبة للمباني التي عرضها أكبر من ١٥,٢ م [٤].

ويجب أن يعتمد حجم مداخل الهواء على سعة المراوح. فيجب تصميم وإنشاء مداخل الهواء بحيث يتولد فرق ضغط ٢ , سم ماء (٠٨, بوصة ماء) تقريبًا عند المدخل. ويحدث ذلك الفرق في الضغط سرعة للهواء حوالي ٣,٥ (م/ث)، والتي تعتبرضرورية للحصول على توزيع جيد للهواء. وتتطلب الكميات الكبيرة من سريان الهواء في الصيف- بالمقارنة بالشتاء- الاحتياج إلى ضبط مداخل الهواء للمحافظة على سرعة دخول ملائمة وعلى أداء جيد لنظام التهوية. وتتغير الطرق المستخدمة في المحافظة على سرعة دخول مناسبة للهواء، ولكن يمكن استخدام أي من هذه الطرق إذا كان التركيب ملائمًا. وتتضمن تلك الطرق[٥]:

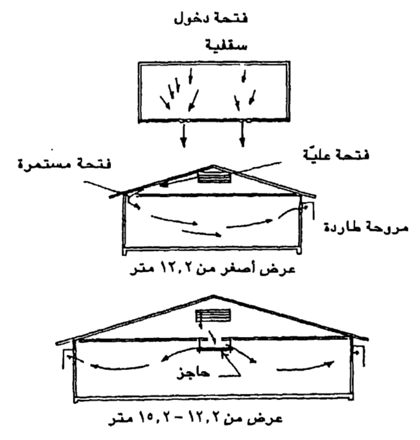
١ - فصل مداخل الشتاء عن مداخل الصيف. وسوف يؤدي ذلك إلى سحب الهواء من العلّيّة في الشتاء والسحب مباشراً من الخارج في الصيف، الشكل رقم (٢ , ٩).

٢ - وجود مثّبط للهواء يعمل بالجاذبية عند المدخل، الشكل رقم (٣ , ٩).

٣ - وجود مفصلة تحكم يدوية أو ألواح تحكم رأسية مع فتحات المداخل في السقف.

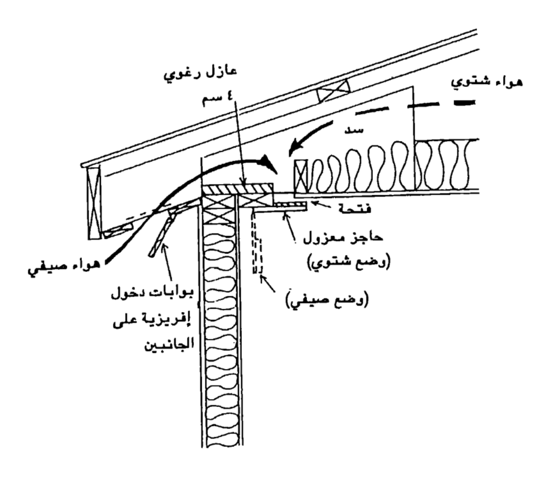
٤ - وجود ألواح تحكم ميكانيكية تحت فتحات المداخل السقفية.

و يتضمن التخطيط لمداخل هواء نقي اعتبارات مهمة أخرى منها: (أ) إلغاء الفتحات غير المخططة و التي قد تتداخل مع مداخل الهواء المصممة، و خاصةً



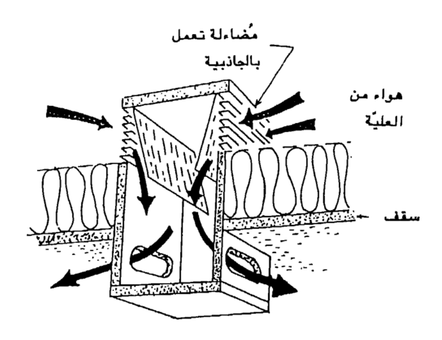
شكل (١ ,٩). فتحات سقفية مركزية وإفريزية لنظم تهوية طاردة

بالنسبة للمناطق المعرضة لظروف جوية باردة، (ب) استخدام حواجز مغطاة بطبقة عازلة تحت المداخل بالنسبة للمناطق الباردة لتوجيه الهواء، و(جـ) دفع هواء الشتاء من خلال العلّيّة لتقليل تأثير الرياح والسماح بعملية تلطيف للهواء قبل دخوله إلى منطقة الحيوانات. ويجب تركيب مقياس لسرعة الهواء ملاصق لونش تشغيل الحواجز، وذلك للمساعدة في ضبط حواجز التوجيه فوق مدخل الهواء. و يعتبر



شكل (٢,٩). فتحة إفريزية للاستخدام الصيفي والشتوي

هذا الجهاز جزءاً من النظام إذا كان نظام التحكم في حركة الحواجز يعمل آليًا. ويفضل الحصول على ضغط إستاتيكي ٢, سم ماء (٠٨, بوصة ماء)، ولكن قد يتعذر ذلك في الأجواء الباردة عندما تنخفض معدلات الهواء المستخدمة. وإذا كانت تلك هي الحالة، فإنه لن يتم خلط الهواء عن طريق الدفع النافوري للهواء من خلال مداخل الهواء. وقد يكون من الأفضل استخدام مراوح تقليب أو أنابيب خلط. ويتم تزويد حوالي ٠٠٥, (م^٣^/ث) لكل م^٢^ من مساحة الأرضية بالنسبة

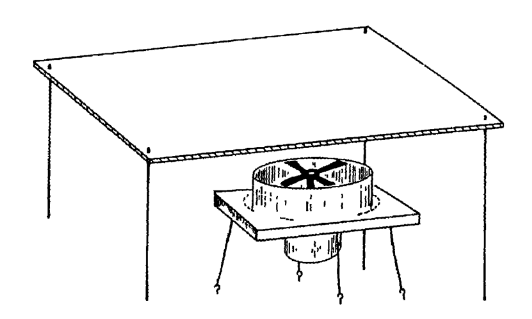


شكل (٩,٣). فتحة سقف مع مُضاءلة ذات ضبط-ذاتي

لعمليات خلط وتقليب للهواء. ويتم تعليق مراوح صغيرة في السقف تدفع مخلوط الهواء إلى حاجز معلق أفقيًا أسفل المروحة في نمط إشعاعي، الشكل رقم (٩,٤). ويمكن استخدام مروحة واحدة فقط بالنسبة لغرفة صغيرة، ولكن قد يحتاج إلى عدة مراوح صغيرة بالنسبة للغرف المستطيلة الطويلة.

و تكون الطريقة الأخرى لعملية خلط ومزج الهواء في غرفة أو مبنى عن طريق تجميع أنبوبة بلاستيكية مع مروحة. ويضمن هذا النظام انتظام توزيع الهواء الدافيء خلال الحيز المغلق بالإضافة إلى عملية المزج المتوافرة بواسطة المروحة المتواصلة التشغيل.

و تدفع المراوح الضاغطة الهواء إلى داخل المبنى مسببة ضغطًا موجبًا. ويتطلب هذا النوع من نظم التهوية أيضًا وجود مداخل أو حواجز مصممةً جيداً في مقدمة المراوح لمنع التيارات الهوائية. و يوضح الشكلان رقما (٩,٥) و(٩,٦) مواضع تركيب المراوح ذات نظم التهوية الموجبة. ويعتبر استخدام أي ماسورة مفردة



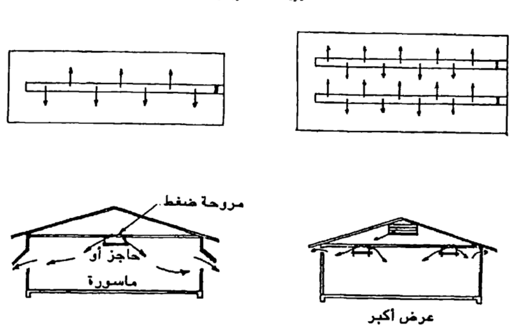
شكل (٤ ,٩). مروحة تقليب وخلط معلقة في السقف

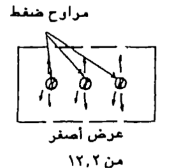
أوحاجز مركزي كافيًا بالنسبة للمباني ذات العرض حتى ٢ ,١٢ م، بينما تحتاج المباني ذات العرض أكبر من ٢ , ١٢ م إلى حواجز على مسافات حوالي ٦,١ م، الشكل رقم (٥ ,٩) . و يجب أن تكون سرعة دخول الهواء مع هذا النظام مماثلةً للسرعات الموصى باستخدامها بالنسبة لنظم التهوية سواء الموجبة أ و السالبة.

مراحل معدلات التهوية

(STAGING OF VENTILATION RATES)

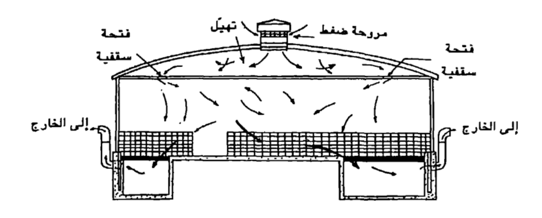
تتغير متطلبات معدلات التهوية من أقل قيمة لها في الأجواء الباردة إلى عدة أضعاف تلك القيمة في الأجواء الحارة. ويجب تزويد أقل معدل تهوية باستخدام مروحة ذات سرعة واحدة تعمل باستمرار أو باستخدام مروحة ذات سرعات متغيّرة، وذلك للمحافظة على مستوى الرطوبة داخل المبنى في الأجواء الباردة.





عرض المباني :
تركب مواسير أو حواجز المراوح على مسافات
حوالي ٦,١ متر من بعضها البعض

شكل (٩,٥). مواضع تركيب المراوح والمداخل لنظام تهوية ضاغط



شكل (٩,٦). نظام تهوية ضاغط من خلال العليّة

ويـزداد معدل سريان الهواء إلى أقصى قيمة له في الأجواء الحارة، وذلك للتخلص بقدر الإمكان من الحرارة، ولتوفير حركة جيدة للهواء حول الحيوانات. وقد تم مناقشة طرق حساب معدلات التهوية الملائمة والقياسية والموصى باستخدامها في الفـصل السـابق. ويفـضل لمنع التـغيّرات السريعـة في درجـات الحـرارة زيادة أوخفض معدلات التهوية على مراحل صغيرة متعـددة، بدلاً من الزيادة الكبيرة مرة واحدة. ويجب ضبط الثرموستات بالنسبة لنظام مراوح متعدد ليكون في حدود من ١ إلى ٢ ْم.

ويمكن توفير مدى من السعات الهوائية بالنسبة لنظام التهوية بعدة طرق: (أ) مروحة صغيرة تعمل باستمرار لتوفير أقل معدل تهوية بالإضافة إلى مراوح كبيرة تعـمل أو يتم فصلها بواسطة الثرمـوستات على مراحل عند ارتفاع أو انخـفاض درجات الحرارة، (ب) مروحة أو مراوح متغيّرة السرعـات، مصـممـة لتزويد أقل معدل سريان عند أقل سرعة مروحية ومتصلة مع مراوح أخرى بواسطة ثرموستات، وذلك للإيفـاء بالزيادات المرحلية من معدلات التـهوية. وتكون المراوح النمـوذجية ذات السرعـات المتغيّـرة لهـا القـدرة على زيادة معـدل سريان الهـواء آليًا على مراحل تبدأ من ٢٠ ٪ من أقصى سعة للمراوح. ويجب أخذ الاحتياط بمراعاة عدم زيادة معدلات سريان الهواء عند تشغيل نظم التدفئة. ويجب أيضًا أخذ الاحتيـاط لحماية المراوح من ضغـوط الرياح الخارجيـة عند تشغيل المراوح على سرعـات منخفـضـة؛ نظرًا لأن زيادة الضغـط الإستاتيكي سيكون له الأثر الكبير في خفض معدل السريان عند التشغيل على سرعـات منخفضـة، (جـ) استخدام مروحـة ذات سرعـة ثابتة يتم التحكم فيها بواسطـة مؤقتة نسبية أو ذات مراحل. ويسمح هذا النظام باستخدام مـدى واسع من مـعـدلات التـهـوية، ولكنه نظام "تشـغـيل - إيقـاف" مما قـد يسـبب تذبذبات كبيرة في درجات الحرارة أو تولّد تيار - خلفي عند المداخل. (د) مروحـة ذات سرعـة واحدة متصلة بثرموستات تحكم وحـواجز هوائية أو مثبطات تعمل آليًا للحد من معدل خروج الهواء من المروحـة. ويمكن إزالـة أحد هذه الحـواجز أو تثبيتها مفتوحة للمحافظة على معدل سـريان مسـتمر للـهواء[٥]. وقـد تم وصف أحـد عـشر طريقة لتـطوير سعة التهوية. وتم تلخيص خصـائص الأداء لكل

طريقة في ASAE Agricultural Engineers Yearbook (1981-82)[3] . ويجب ضبط ثرموستات تشغيل المراوح التي تعمل على مراحل - مراوح تزويد معدل سريان هواء أعلى من أقل معدل سريان مستمر - للعمل على مراحل متزايدة تقريبًا من ١ إلى ٢ °م . ويجب أخذ الاحتياط بعدم زيادة معدل التهوية عند تشغيل الدفايات .

نظم التهوية الطاردة

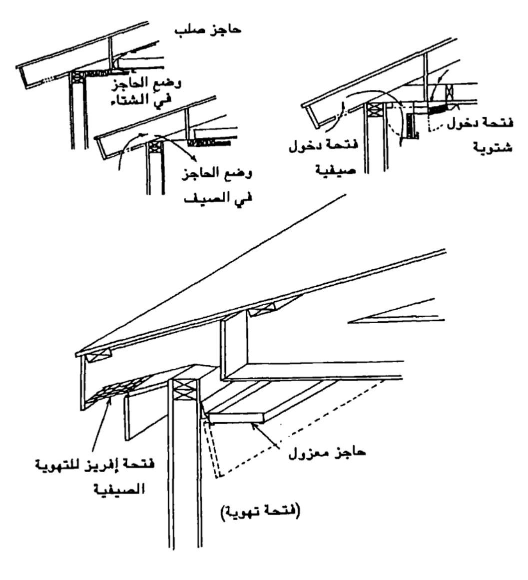
(EXHAUST VENTILATION SYSTEMS)

تعتبر نظم التهوية الطاردة من أكثر أنواع نظم التهوية الميكانيكية شيوعًا . وترتبط التهوية أساسًا في نظم التهوية الطاردة بتصاميم ومواضع المداخل . وسوف يتم تقدير الخصائص لنظم التهوية الطاردة بالنسبة للأنواع التالية : (أ) مدخل سقف - حائط ، (ب) فتحة مدخل سقفية ، (جـ) مدخل أنبوبي .

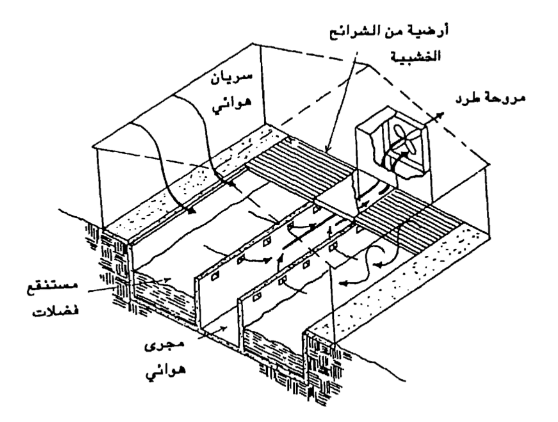
مدخل سقف - حائط (Ceiling-Wall Inlet)

يوضح الشكل رقم (٩,٧) عملية ضبط المداخل من النوع سقف- حائط بالنسبة لفصلي الصيف والشتاء . وتتم عملية تلطيف هواء التهوية في الشتاء بسحب الهواء من خلال العلِّية أو بتوجيه هواء الشتاء البارد إلى فتحة مستمرة بطول السقف . وسوف تسحب نافورة الهواء الهواءَ الدافيء من الحيِّز إذا تمت المحافظة على سرعة دخول ملائمة تقريبًا ٣,٥ (م/ ث) ، مما يتيح توزيع جيد خلال المبنى وخفض التيارات الباردة على الحيوانات في المباني ذات العرض حتى ١٢,٢ م . وعادة يتم تركيب المراوح بالنسبة للمبانى ذات العرض حتى ١٢,٢ م على الحائط المقابل . أما بالنسبة للمباني التي يتم تخزين روث البهائم تحت الأرضية المثقبة ، فإنه يمكن استخدام المراوح التي تعمل باستمرار لتوفير أقل معدل تهوية في طرد هواء العادم من حفرة الروث ، الشكل رقم (٩,٨) . ويتم ضبط فتحة المدخل بالنسبة للتشغيل الصيفي بحيث يتم سحب الهواء من الخارج فوق الحاجز ثم التوجيه إلى أسفل الحائط الخارجي . ويحد ذلك من عملية تلطيف الهواء النقي ، مما يعزز راحة الحيوانات والدواجن بواسطة التبريد بالحمل . ويحتاج حاجز المدخل الشتوي

في الأجواء الباردة إلى تغطيته بطبقة عازلة لخفض مشاكل التكثيف الناجمة من الظروف الرطبة الدافئة في المبنى، وكذلك من تأثير التبريد الناتج من هواء التهوية الشتوي.



شكل(٧,٩). فتحات إفريزية مستمرة

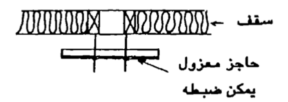


شكل(٨,٩). نظام تهوية طارد مع تهوية مستنقع الفضلات باستخدام فتحات إفريزية من خلال ماسورة مركزية.

فتحة مدخل سقفية (Ceiling Slot Inlet)

يمكن استخدام فتحة مدخل مركزية مستمرة وذات حاجز- الشكل رقم (٩,٩) - وذلك بالنسبة للمباني حتى عرض ١٢,٢ م. ويتم استخدام مدخلين مستمرين بالنسبة للمباني ذات العرض أكبر من ١٢,٢ . ويتم تركيب المراوح على جانبي المبنى. ويمكن طرد أقل معدل تبادل هوائي مستمر من خزان المخلفات، الشكل رقم (٨,٩). ويمكن بالنسبة للتهوية الصيفية استخدام فتحات الإفريز السقفية، والمماثلة لما تم وصفه في المقطع السابق أو ألواح تهوية مركبة في الحائط. ويجب عدم تركيب فتحات إفريز على مسافة أقل من ٣ م من فتحات العادم من كل جانب. ويجب أيضًا تركيب مواد عازلة على فتحات المداخل السقفية، كما يجب ضبط المداخل بحيث تكون سرعة دخول الهواء حوالي ٣,٥ (م/ث). وتعتبر

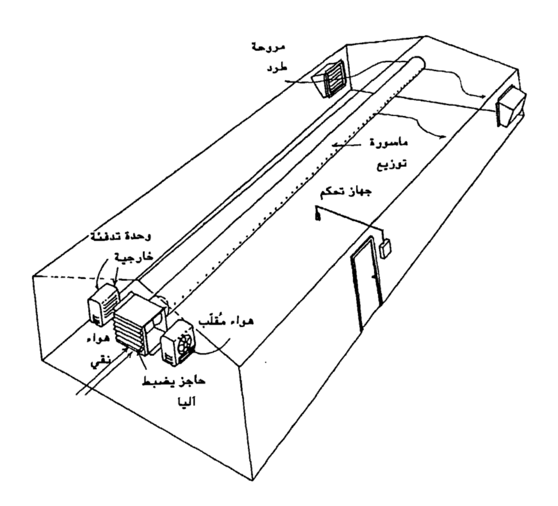
عملية ضبط مدخل مركب في السقف للمحافظة على السرعة عند هذا المستوى- مع تغيّر معدل السريان- أصعب من فتحة الإفريز الحائطي. ويجب توفير مساحة حرة لدخول الهواء من الخارج إلى العلّيّة في حدود من ٣, إلى ٤, م٢ لكل (م٣/ ث) من سعة المروحة.



شكل(٩, ٩). فتحة مدخل في مركز السقف، ذات حاجز

مدخل أنبوبي (Tube or Duct Inlet)

يتكون نظام المدخل الأنبوبي من أنبوبة ومروحة تقليب ومروحة طاردة. وعامة يكون هذا النظام متوفراً كنظام تجاري، الشكل رقم (٩, ١٠). وتعمل مروحة التقليب باستمرار، ويجب أن تكون سعة مروحة التقليب كافية ومساوية لأقل معدل تهوية شتوي. ويتم سحب الهواء النقي من فتحة التهوية التي تعمل إما يدويًا أو ميكانيكيًا طالما كانت مراوح الطرد تعمل. ويتم خلط الهواء النقي مع هواء التقليب ثم يوزّع داخل المبنى من خلال فتحات في الأنبوبة. ويتم تشغيل عدد أكبر من مراوح الطرد عند زيادة معدل الهواء النقي المطلوب، كما تسمح فتحات تهوية أخرى بدخول الهواء النقي إلى المبنى. ويتم توزيع مراوح الطرد، والتي تعمل بواسطة الثرموستات عند ارتفاع درجات الحرارة، حول محيط المبنى؛ نظراً لدخول بعض الهواء الخارجي في فترات التهوية العظمى في الصيف إلى المبنى بدون



شكل (١٠, ٩). نظام أنبوبة تهوية ضاغطة مع دفايات مساعدة

المرور من خلال الأنبوبة. ويمكن تركيب المراوح في مركز المبنى بالنسبة للمباني الطويلة مع وجود فتحات مداخل الهواء عند الحوائط النهائية للمبنى. ويمكن اعتبار هذا النظام كنظام تهوية ضاغط؛ نظرًا لأن مروحة التقليب تزيد من الضغط في الأنبوبة.

ويمكن إضافة نظم التبريد التبخيري إلى نظام التهوية، وذلك للإقلال من الضغط البيئي الصيفي. و يوضح الشكل رقم (٩,١١) استخدام مبرد تبخيري مع نظام تهوية أنبوبي. ويتم عند معدلات التهوية الصيفية المرتفعة توزيع الهواء المسحوب من خلال وسادات المبخر إلى المبنى مباشرةً وبدون المرور في الأنبوبة.

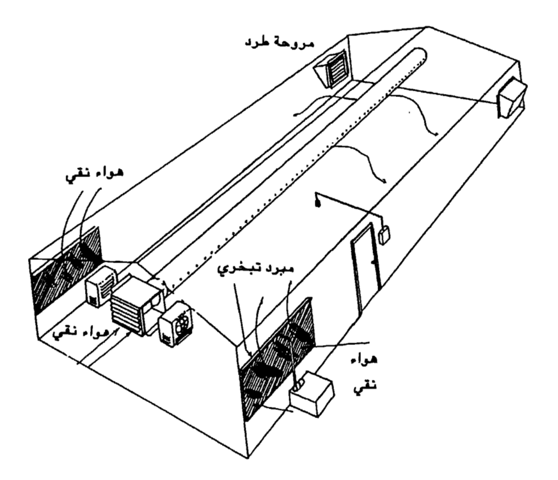
نظم التهوية الضاغطة

(PRESSURE VENTILATION SYSTEMS)

يمكن استخدام مراوح في السطح أو السقف أو الحوائط أو في أنبوبة كمداخل لنظم التهوية الضاغطة. ويمكن توفير مخارج في المبنى لطرد الهواء، وذلك كما في الشكلين رقمي (٩,٥) و(٩,٦). ويتم التحكم مبدئيًا في توزيع الهواء عن طريق اختيار مواضع المراوح ومداخل الهواء. وتكون المساحات الموصى باستخدامها للمخارج من ٠,٣ إلى ٠,٤ م٢ لكل (م٣/ث) من سعة المروحة. ولايعتبر اختيار موضع المخارج حرجًا، ولكن غالبًا ما تكون تلك الفتحات موزعة بانتظام حول حوائط المبنى.

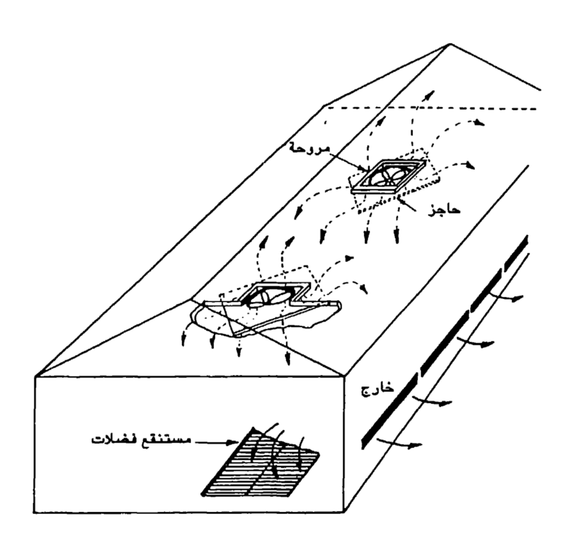
نظم المداخل السقفية (Ceiling Inlet Systems)

يوجد عامةً نوعان من نظم المداخل السقفية ذات الضغط. ويستخدم أحد هذه النظم المراوح المركبة على السطح لدفع الهواء إلى العليّة من خلال حواجز وسقف وفتحات المداخل إلى المبنى ثم إلى الخارج من خلال فتحات حول محيط المبنى أو من خلال الأرضية المثقبة عبر مخارج خزان الروث، الشكل رقم (٩,٥). و يجب



شكل (١١, ٩). نظام أنبوبة تهوية ضاغطة مع تبريد تبخيري

الاهتمام مع هذا النظام بإنشاء العلِّية والسطح، وذلك لتقليل التسرب من العلِّية إلى الخارج. ويتم تركيب المراوح في النظام الثاني في مواضع عند مستوى السقف. و يتم سحب الهواء إلى العليِّة ثم دفعه إلى المبنى إما من خلال مدخل في السقف على شكل صندوق داخله حواجز، أو من خلال أنبوبة مدخل مثقبة ومستمرة، الشكل رقم (١٢, ٩). و يوصى بأن يكون عرض الحاجز الهوائي ضعف قطر المروحة (D) وأن يوضع الحاجز على مسافة حوالي (٥\٨ القطر) أسفل السقف. وللحصول على أقصى انتظامية لتوزيع الهواء، فإنه يجب تركيب الحاجز بحيث تميل جوانبه بزاوية ٤٥° بالنسبة لحوائط المبنى الجانبية. ويخرج الهواء من المبنى خلال فتحات على



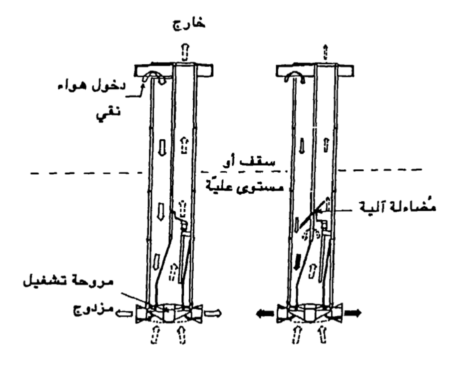
شكل(١٢ ,٩). مدخل سقفي ضاغط على هيئة صندوق مع حاجز توجيه

مسافات منتظمة مثل تلك التي تم توضيحها في نظم التهوية ذات الضغط مع تركيب المراوح على السطح.

التهوية ذات الضغط المتعادل

(NEUTRAL PRESSURE VENTILATION)

يستخدم نظام التهوية ذو الضغط صفر والمتوافر تجاريًا مروحة مصممة خصيصًا لتزويد وطرد كميات متساوية من الهواء. فيتم خلط هواء الحيّز مع الهواء النقي باستخدام مثبط خلط يعمل بالثرموستات ويدفع الهواء إلى المبنى من خلال اختناقات يتم ضبط كل واحد منها على حدة، الشكل رقم (١٣، ٩). ويزداد معدل استهلاك الطاقة مع هذا النظام؛ نظرًا لاستخدام معدل تهوية ثابت. ولكن تسمح عملية خلط الهواء بتقديم هواء التهوية إلى المبنى عند درجة حرارة قريبة جدًا من درجة حرارة الحيّز. كما نجد أيضًا أنه كلما زاد معدل السريان، كلما تحسن توزيع هواء التهوية. ويُسمح باستخدام محرك كهربائي ذي سرعتين للحصول - مع المتطلبات المتغيرة - على ضبط أدق لمعدل التهوية. وغالبًا ما تركب وحدات التهوية - والتي



شكل (١٣، ٩). نظام تهوية ذو ضغط متعادل، مع التحكم في دخول الهواء النقي

تشمل المداخل والمخارج - بالقرب من مركز السقف أو السطح لمبنى الماشية، الشكل رقم (١٤, ٩). وتوجد وحدات طرد منفصلة متاحة لتحسين توزيع الهواء في المباني التي تتطلب طرد جزء من هواء التهوية من خلال خزان الروث.

وقد أصبحت نظم التهوية المتعادلة التي تم توطيدها باستخدام مراوح طرد وضغط متساوية الحجم أكثر شيوعًا. وتستخدم هذه النظم في الأماكن حيث دقة التحكم مرغوبة لكل من الهواء الداخل والخارج. و تستخدم تلك النظم أيضًا بالنسبة للمنشآت التي تحتوي على فتحات مثل فتحات خزان مخلفات الحيوانات أو مداخل الأفران والتي يصعب غلقها بإحكام، كما يعتبر مرور الهواء الداخل أو المطرود من خلال تلك الفتحات غير مرغوب. وتتضمن نظم التهوية المتعادلة استخدام زوج من المراوح، بحيث تعمل أحدهما مع نظام ضغط لتوزيع الهواء داخل الحيّز والتأكد من التوزيع الفعّال، بينما يتم تعليق المروحة الأخرى أو الطاردة في موضع ملائم للتخلص من كمية من الهواء من داخل المبنى تعادل الكمية التي تم دفعها إلى الداخل بواسطة مروحة الضغط.

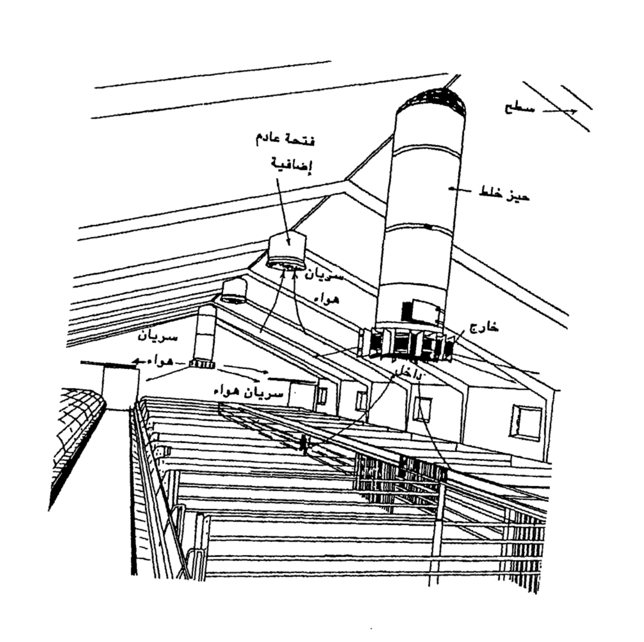
نظم التهوية الطبيعية

(NATURAL VENTILATION SYSTEMS)

يتم استخدام نظم التهوية الطبيعية طالما تم توفير أماكن لإيواء الحيوانات المزرعية أو الدواجن. وعادة يمكن الحصول على تهوية طبيعية كافية عن طريق التصميم المناسب لمداخل ومخارج الهواء، وكذلك عن طريق الضبط اليدوي لهذه الفتحات. و توجد الآن تجهيزات آلية متاحة وشائعة الاستعمال للتحكم في تلك الضبطات .

و يجب الأخذ في الاعتبار للتوصيات التالية بالنسبة للتهوية الطبيعية لمنشآت الإنتاج الحيواني:

١ - يجب تحديد حجم فتحة حافة تتوافق مع كمية الحرارة المتولدة من الحيوان ومع تأثيرات الطاقة الشمسية المكتسبة. و يوصى باستخدام فتحة حافة



شكل (١٤ ,٩). نظام تهوية ذو ضغط متعادل

لدفع ٢, ٠ (م٣/ث) لكل م٢ من مساحة الأرضية[٦].

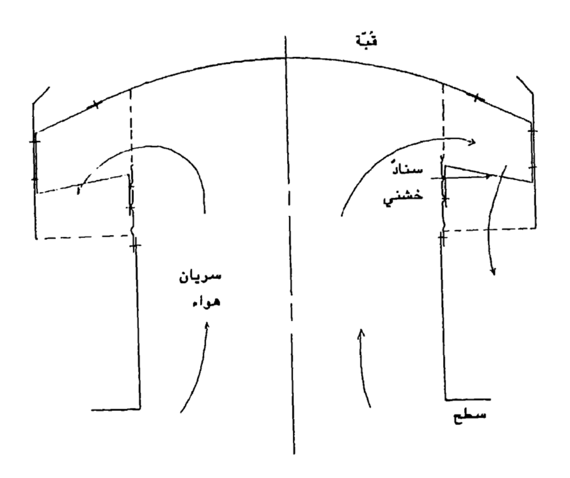
٢ - يجب أن تكون فتحات الحوائط الجانبية مستوية لتَعُم اتجاهات الرياح الصيفية. وينصح بالنسبة للبيوت بدون فتحات حافة أو مصدر تهوية ميكانيكية أن تكون نسبة عرض البيت هندسيًا إلى المساحات المفتوحة على الحائط الجانبي أكبر من ١ إلى ٣. مثال: يجب أن لايزيد عرض البيت ذي فتحة ٢ م مركبة على كل حائط جانبي على ١٢ م.

٣ - يجب وضع المباني على مسافة على الأقل ١٠ مرات ارتفاع أقرب الأشجار. كما يجب أن تكون المسافة بين المباني وبعضها البعض على الأقل ٤, ارتفاع المبنى مضروبًا في الجذر التربيعي لطول المبنى[٧].

فتحات الحافة العلوية (Ridge Vents)

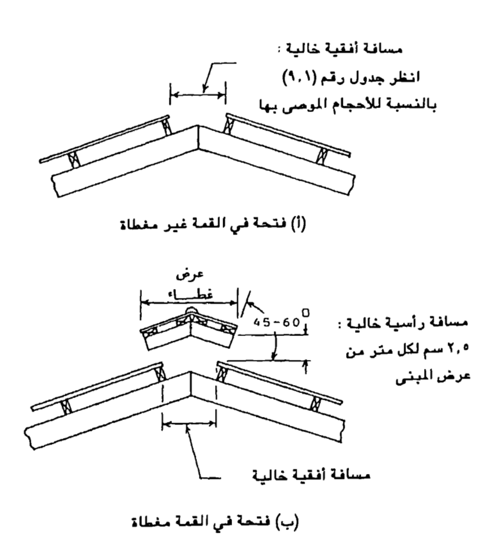
يتم عمل فتحات الحافة العلوية على السطح الخارجي للمبنى بالقرب من قمة الحافة العلوية بحيث تسمح للهواء المتحرك بقوى الرياح وفرق درجات الحرارة بالتسرب من المبنى إلى الخارج. ويمكن أن تكون الفتحات رأسية وأسطوانية أو مربعة الشكل، وذلك كما في الشكل رقم (٩, ١٥). ويمكن أيضًا أن تكون الفتحات أفقية مع وجود بعض التغييرات الهندسية المتعددة مع كل نوع. وتستخدم العديد من أنواع هوّايات الحافة، يعمل بعضهم بقوى الرياح والبعض الآخر لدية فتحات ضبط. وعادةً ما تمتليء هوّايات الأسطح في مباني الماشية والدواجن بالأتربة وبيْض الطيور، أو بالثلوج في الأجواء الباردة. و يوضح (MWPS)[8] أن هذه الهوايات تعتبر غير كافيةً بالمقارنة بفتحات الحافة العلوية، بالرغم من أنها تحمي المبنى من الأمطار و الثلوج. ويمكن ضبط وتنظيم سريان الهواء في الهوّايات العلوية باستخدام حواجز ضبط ميكانيكي.

ويكون الاستخدام الشائع عن طريق ترك الحافة مفتوحة باستمرار، الشكل رقم (٩, ١٦). و يجب توفير فتحة بطول من ٤ إلى ٥ سم تقريبًا لكل ٣ م من عرض المبنى. ويحتاج الجمالون والمدّادة - أو الرافدة الخشبية التي تُدعم السقف - إلى



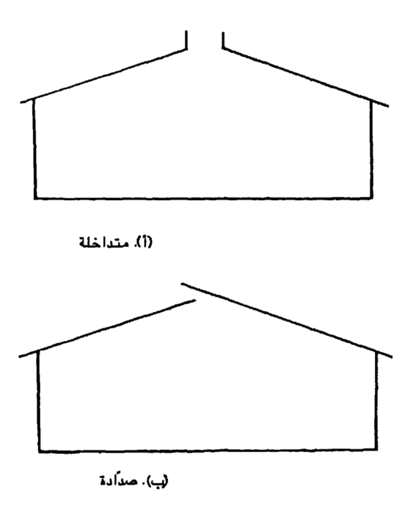
شكل (٩,١٥). مِهْواة دائرية تعمل بالجاذبية

حماية من الأمطار أو الثلوج عن طريق استخدام شرايط من حشوات معدنية. ويمكن استخدام غطاء مرتفع فوق الفتحة، كما في الشكل رقم (٩,١٦)، لمنع دخول الأمطار. و لكن قد يؤدى استخدام هذا الغطاء إلى الإقلال من معدل سريان الهواء و زيادة تراكم الثلوج في المبنى نتيجة لتأثير "السياج الجليدي". و ينصح بأن يكون أقل خلوص رأسي بين سطح المبنى والغطاء في حدود ٢,٥ سم لكل ٣ م من عرض المبنى بحيث لا يعترض الغطاء حركة الهواء المستمرة إلى أعلى. و يجب أخذ القياسات في عملية تركيب الغطاء من المستوى الأفقي بحيث تكون الزاوية من أقصى جزء مرتفع من السطح إلى أقل جزء من الغطاء ما بين ٤٥ و٦٠ درجة.



شكل (١٦ , ٩). فتحات حافة ومستمرة، مفتوحة ومغطاة

ويمكن استخدام معاملات بديلة لفتحة الحافة مثل استخدام الحافة المتداخلة أو المتراكبة، الشكل رقم (١٧ , ٩). ويعتبر التصميم المتداخل غير مرغوب في المناطق ذات الرياح عالية التغيّر.



شكل (١٧ ,٩). فتحات حافة ومستمرة، متداخلة وذات حواجز توجيه

فتحات إفريزية (Eave Openings)

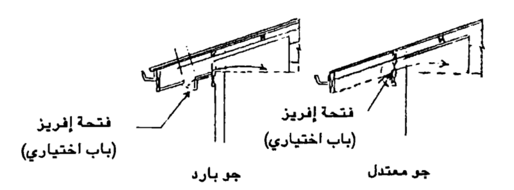
تُصمّم فتحات الإفريز لإمرار الهواء إلى داخل المبنى، وقد تعمل أيضًا كمخارج للهواء اعتمادًا على اتجاه الرياح. ويتشكل النوع الأكثر شيوعًا لفتحة الإفريز عن طريق عمل فتحة مستمرة ٥ , ٢ سم لكل ٣ م من عرض المبنى تحت الإفريز، الشكل رقم (١٨ , ٩). وتسمح هذه الفتحة بدخول مستمر وتوجيه للهواء النقي بطول السقف إلى فتحة الحافة العلوية. ويجب أن تكون فتحات الإفريز مفتوحةً كليًا، ولكن مع بعض الاستثناءات القليلة. ويمكن غلق الفتحة جزئيًا باستخدام بوابة مفصلية في الحالات التي تهب فيها العواصف الثلجية أو تيارات من الأمطار الشديدة. ويجب أن يكون أقل تصميم لفتحة الإفريز في حدود ١ سم لكل ٣ م من عرض المبنى.

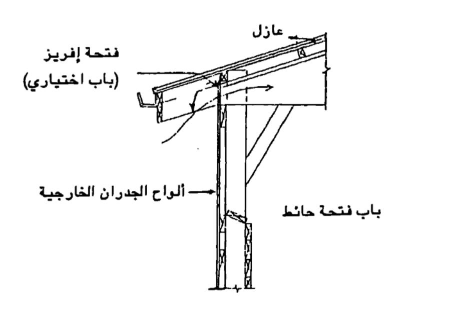
ويمكن أيضًا توصيل مادة سطح قنطرة مثقبة إلى السطح السفلي للجزء المتدلي من السقف لتعمل كفتحة إفريز. وقد يحدث تسرب للجليد أثناء العواصف الثلجية الدوامية. وقد يكون ذلك مزعجًا خاصةً إذا تراكمت الثلوج على قمة السقف الإضافي المعزول. ويوضح الجدول رقم (١ , ٩) أحجام فتحات تهوية يوصي باستخدامها مع التهوية الطبيعية لمباني الماشية.

الألواح المفصلية – الستائر والأبواب اللفافة

(Hinged Panels, Curtain and Rolling Doors)

تصل التهوية الطبيعية إلى أقصى معدلاتها في المباني ذات الواجهة المفتوحة. ويعتبر هذا النوع من التصميم غير ملائم لجميع الأجواء ولكل الأجناس من الحيوانات. وتستخدم المباني كاملة التسييج ألواح مفصلية وأبواب لفافة وستائر حائطية تعمل كفتحات تهوية. وتفتح الألواح المفصلية المعلقة من أعلى، كما تفتح للداخل، الشكل رقم (١٩ , ٩). وتعتبر تلك الفتحات غير مرغوبة بالنسبة للجو البارد في الشتاء؛ نظرًا لأن الهواء البارد سوف يتجه صوب الحيوانات. وتسمح





شكل (١٨ , ٩). مداخل إفريزية ذات تهوية طبيعية

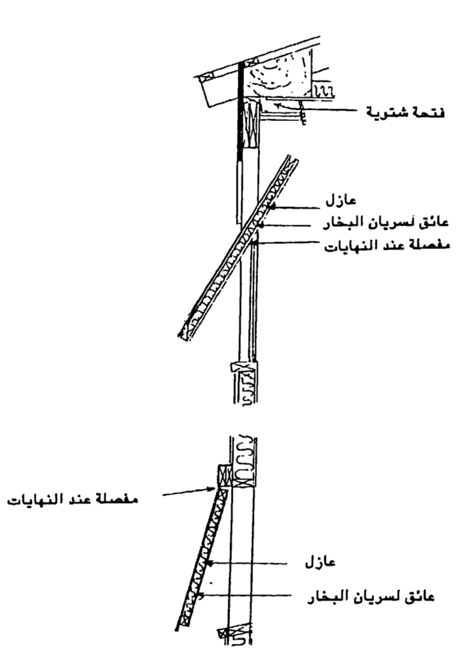
جدول (٩,١). أحجام فتحات تهوية يوصى باستخدامها بالنسبة للتهوية الطبيعية في مباني الماشية والدواجن[٩].

نوع الإيواء	سم من الفتحة لكل ٣ م من عرض المبنى — فتحات حافة وإفريزية شتوية*	فتحات جانبية صيفية — سطح جمالوني على الجانبين	أحادي الميل، حائط خلفي	أحادي الميل، حائط أمامي
	سم/ ٣ م من عرض المبنى			
أبقار لحم	٥,١	٢٣	١٣	٣٨
ماشية حلابة	٢,٥	١٥	١٠	٣٠
أغنام	٠,٦	١٥	١٠	٣٠

* – تم التصميم لتزويد تهوية في أجواء باردة عند سرعة رياح ٤,٥ (م/ث). ويجب أن يكون عرض أقل فتحة حافة ١٠ سم، وذلك لمنع الانسداد الجليدي.

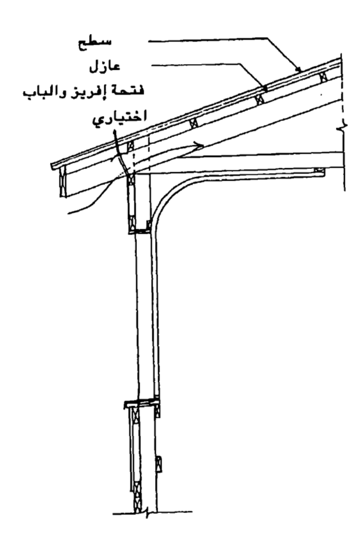
– تم تصميم أحجام فتحات الأسطح الجمالونية لتزويد تهوية في أجواء حارة عند سرعة رياح ٠,٥ (م/ث)

الأبواب المعلقة في مفصلات سفلية – والتي تُفتح للداخل من أعلى – للهواء البارد بالدخول إلى مستوى مرتفع داخل المبنى والاختلاط مع الهواء الداخلي الدافيء قبل الوصول إلى الحيوانات. وتكون الطريقة الثالثة والأكثر شيوعًا عن طريق جعل الأبواب ترتكز في المنتصف بحيث يفتح الجزء العلوي للداخل والجزء السفلي إلى الخارج، الشكل رقم (٩,١٩). ويتطلب هذا الترتيب ضبطًا دقيقًا؛ نظراً لأن الضبطة الواحدة تؤثر على الفتحة. ويقلل هذا الترتيب أيضًا من القوة المطلوبة لعملية الضبط سواء كانت يدوية أو آلية. وتستخدم الستائر الحائطية في بعض الأحيان في مباني الدواجن، وحديثًا في حظائر الماشية. وعامةً تصنع الستائر من الألياف الزجاجية المقواة، وتفتح من أعلى إلى أسفل بواسطة ونش وكابل. ويعتبر ذلك مرغوبًا في الجو البارد.



شكل (٩,١٩). ألواح معلقة للتهوية الصيفية

ويمكن أيضًا استخدام الأبواب اللفافة، كما في الشكل رقم (٢٠,٩)، لتزويد فتحات التهوية الطبيعية. وتعتبر هذه الأبواب أكثر ملاءمة لتزويد التهوية في التبريد الصيفي عند فتح الأبواب إلى أعلى، وذلك كما هو موضح بالشكل المذكور.

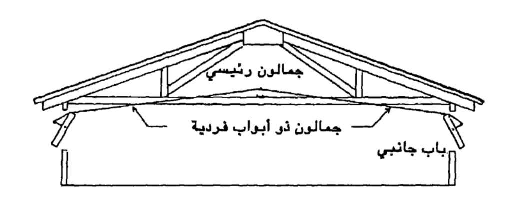


شكل (٢٠,٩). لوح تهوية صيفية على شكل باب لفاف

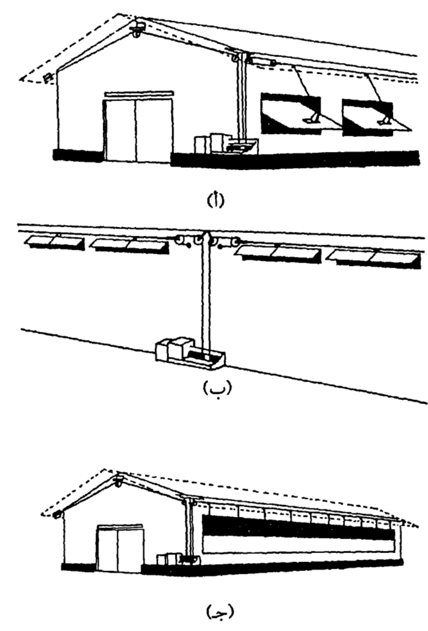
أجهزة تحكم آلية لنظم التهوية الطبيعية

(Automatic Controls for Natural Ventilation Systems)

تم تطوير أدوات تحكم آلية بالنسبة لنظم التهوية الطبيعية بحيث يمكن تعديل معدل التهوية لتحسين الظروف البيئية المرغوبة عند سرعات رياح ودرجات حرارة خارجية متغيّرة. وفي الغالب ما تتضمن تلك النظم ثرموستات أو ثرموستات وساعة ذات فواصل زمنية محددة لضبط فتحات التهوية عن طريق كابل شد ووحدة أوناش ومحولات. وتستخدم هذه الوحدات في فتح وغلق الأبواب والحواجز والستائر. وسوف تعمل أيضًا تلك الوحدات مع الأبواب المفصلية المثبتة سواء من أعلى أو من أسفل أو في المنتصف. ويوضح الشكلان رقما (٢١, ٩) و(٢٢, ٩) طريقتين من طرق التحكم الآلي في فتحات التهوية الطبيعية.



شكل (٢١, ٩). وحدة تحكم آلي لحواجز تهوية



شكل (٩,٢٢). أجهزة تحكم آلية لفتحات التهوية الطبيعية

(أ) – أبواب تهوية تُفتح وتُغلق

(ب) – حواجز تُفتح وتُغلق

(جـ) – ستائر تُفتح وتُغلق

المراجع

1 Esmay, Merle L. 1978. Principles of animal environment. Ch. 16 Energy conservation principles. AVI Publ. Co., Inc., Westport, CT.

2 ASHRAE. 1978. ASHRAE Handbook of Applications. Ch. 22 Environmental control for animals and plants. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 347 East 47th Street, New York, NY 10017.

3 ASAE. 1981-82. ASAE Agricultural Engineers Yearbook. ASAE Data: ASAE D270.4 Design of ventilation systems for poultry and livestock shelters. ASAE, 2950 Niles Road., St. Joseph, MI 49085.

4 MWPS. 1976. MWPS-8 Swine housing and equipment handbook. Midwest Plan Service, Iowa State University, Ames, IA 50011.

5 Lubinus, Louis and J. P. Murphy. 1980. Mechanical ventilation of swine buildings. Pork Industry Handbook, PIH-60. Cooperative Extension Service, South Dakota State University, Brookings, SD 57007.

6 Timmons, M. B. and M. R. Baughman. 1981. Similitude analyses of ventilation by the stack effect from an open ridge livestock structure. TRANSACTIONS of the ASAE 24(4):1020-1034.

7 Krishman, P. V. 1965. Spacing of buildings for natural ventilation. TRANSACTIONS of the ASAE 8(2):208, 209, 215.

8 MWPS. 1976. MWPS-7 Dairy housing and equipment handbook. Midwest Plan Service, Iowa State University, Ames, IA 50011.

9 Jones, Don C., H. Friday and S. S. DeForest. 1980. Natural ventilation for livestock housing. AE-97. Cooperative Extension Service, Purdue University, West Lafayette, IN 47907.

الفصل العاشر

تأثير البيئة على نمو النبات*

(THE EFFECT OF ENVIRONMENT ON PLANT GROWTH)

- مقدمة • درجة الحرارة • الرطوبة النسبية • الضوء
- بيئة الجذور • التعقيم للتحكم في الأوبئة

مقدمة

(INTRODUCTION)

يوجد أكثر من مليون وثلاثمئة ألف صنف تقريبًا من النباتات المزروعة والمعروفة للإنسان. وتنمو هذه النباتات تحت ظروف مختلفة تتباين من أعماق البحار إلى قمم الجبال. ويتغيّر طول اليوم والطاقة الإشعاعية ودرجة الحرارة بالنسبة للبيئة على حسب المكان والفصل. كما تتباين التربة من حيث النوع والتركيب والخصوبة. وتتغيّر جذريًا نسب غاز ثاني أكسيد الكربون وملوّثات الهواء في الهواء الجوي من المناطق الريفية إلى الحضرية. وقد كان لهذه المتغيّرات سعي متصل من الإنسان لبناء البيوت للتحكم في تلك الظروف على حسب الاحتياجات. ويحتمل أن يكون أول بيت محمي أنشيء في بداية القرن الثامن عشر في ولاية ماسيتيوسيس، وفي عام ١٧٦٤م في نيويورك. وقد قام چورج واشنطن بعد ذلك بعدة سنوات بوضع حجر الأساس لأحد البيوت المحمية في مونت ڤيرنون[١].

وقد رأينا في آخر ثلاثة عقود تطوّر البيوت المحمية المكيّفة وغرف نمو النباتات والعديد من المنشآت ذات التحكم البيئي[٢]. وقد ساعدت ميزة تهيئة البيئة البحاث على دراسة تأثير العديد من العوامل البيئية على نمو النبات سواء

---

* روبرت أ. آلدريش: جامعة كينتاكي، ستورز
روبرت چـ. داونس: جامعة ولاية كالورانيا الشمالية، رالِيف
دونالد ت. كريزيك: وزارة الزراعة، بيلت سفيل- ميريلاند
لوويل كامبيل: وزارة الزراعة-بيلت سفيل، ميريلاند

كانت مفردة أومجتمعة مع بعضها البعض. وقد ساعدت تلك المنشآت البحاث على إيجاد أقل وأمثل وأقصى ظروف مطلوبة لإنبات البذور والنمو الخضري وتطوّر نمو الفاكهة وأصناف مختارة من الزهور. وتستخدم المنشآت ذات التحكم البيئي حديثًا بواسطة المربيين التجاريين للتعجيل بإنتاج الشتلات [٣].

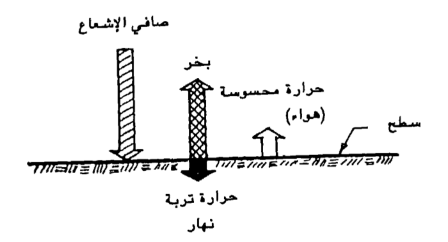
وتعتبر العلاقة بين النبات والبيئة معقدة للغاية؛ نظراً لوجود عدد كبير من التفاعلات البيئية مع البنية الوراثية التي تعمل عند مستويات عديدة تبدأ من مستوى الخلية إلى مستوى النبات ككل.

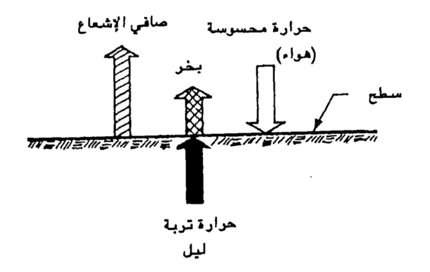
ويصف هذا الفصل تلك العوامل الموجودة في البيئة الطبيعية التي تلعب دوراً رئيسيًا في تحديد تطوّر نمو النبات، والتي تعتبر أيضًا مهمة للغاية بالنسبة للتصميم الهندسي للبيئة داخل البيت المحمي. وقد تم- لتسهيل عملية المناقشة- تقسيم البيئة الطبيعية إلى قسمين: القسم الأول خاص بالمنطقة الهوائية المحيطة بالنبات فوق سطح الأرض، والقسم الثاني خاص بمنطقة الجذور تحت سطح الأرض. وتتضمن عوامل القسم الأول كلاً من درجة الحرارة والرطوبة النسبية والضوء وتركيب وحركة الهواء، بينما تتضمن عوامل القسم الثاني الوسط الجذري ودرجة حرارة التربة ومصادر الغذاء والماء. وقد تم أيضًا إضافة فقرة خاصة بتعقيم التربة.

درجة الحرارة

(AIR TEMPERATURE)

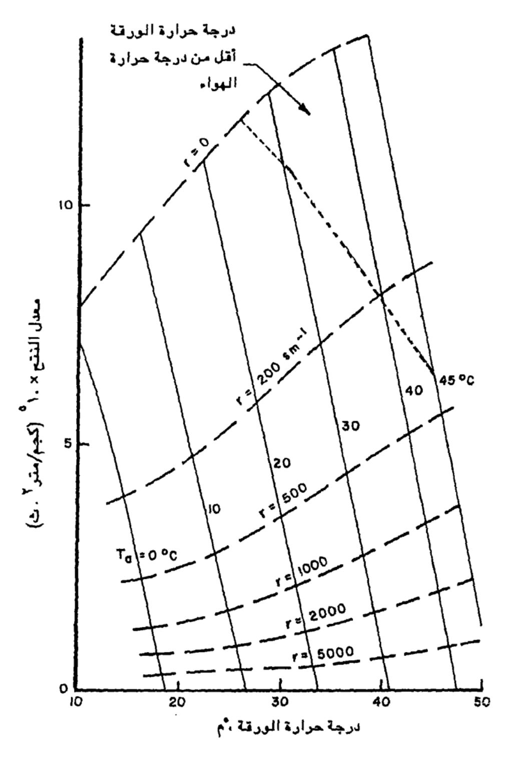
تعتبر درجة حرارة أوراق النباتات في الغالب ممثلة لدرجة حرارة النبات نفسه. وتتولد تلك الحرارة من الاتزان الحراري عند الأوراق. وفي الغالب ماتعتبر درجة حرارة الأوراق محصلة لعدة عوامل منها درجة حرارة الجو والطاقة الإشعاعية والتبادل الحراري بالحمل (الكامن والمحسوس) عند سطح النبات، الشكل رقم (١ , ١٠). ولا يمكن بأي حال من الأحوال بناءً على ما سبق فصل درجة حرارة أوراق النباتات عن العوامل البيئية المحيطة بها والمؤثرة فيها، كالإضاءة وحركة الهواء ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية للهواء، الشكل رقم (٢ , ١٠)[٤،٥]. وترتفع درجة حرارة الأوراق عن درجة حرارة الجو بزيادة الطاقة الإشعاعية الساقطة على سطح





شكل (١ , ١٠). رسم يوضح توزيعات الطاقة على سطح الأرض

الأرض. وتتناسب كمية الحرارة المنتقلة بالحمل مع فرق درجة الحرارة بين الأوراق والهواء. وعلى ذلك، فإن سريان الهواء فوق الورقة يجب أن يُعزز حمل الحرارة المحسوسة وأيضًا الكامنة عن طريق خفض سمك الطبقة الحدية أو المقاومة؛ نظرًا لأن المقاومة (r) تتناسب مع سرعة الهواء، أو $r = KV^{-0.5}$. ولكن تعتبر الطبقة الحدية أيضًا دالة في شكل الورقة، بحيث يتوقع أن تكون للورقة الصغيرة الرفيعة مع سرعة هواء مرتفعة نسبيًا درجة حرارة أقل من درجة حرارة الورقة الكبيرة السميكة، وذلك تحت



شكل (٢ , ١٠). معدل النتح كدالة في درجة حرارة ورقة النبات، بالنسبة لدرجات حرارة هواء متغيرة ومقاومة انتشار كلية.

نفس الظروف من الطاقة الحرارية والإشعاعية. ولذلك فإن درجة حرارة ورقة فول الصويا تكون قريبةً جداً من درجة حرارة الوسط، بينما بناء سميك مثل الصبّار يمكن أن تكون له درجة حرارة داخلية قد تصل إلى ٣٠ ْم أعلى من الظروف الجوية. ومن الشائع أن تكون درجة حرارة الأوراق أعلى من درجة حرارة الهواء من ١٥ إلى ٢٠ ْم في بيئة حَرْجَفيّة أو تتسم بالحرارة والجفاف[٦،٧]. وقد ارتفعت درجة حرارة المبيض أو الجزء الأسفل المتفخ من نب بصلة تواجه الشمس والمقاسة في يوم ساكن حتى ٦٠ ْم[٧]. وقد فشلت تلك المبايض- ولا توجد حاجة إلى ذكر ذلك- في إنتاج بذور قيّمة.

وقد تكون درجة حرارة الورقة أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط طالما لم تتعدى درجة حرارة الوسط ٢٨ ْم. وغالبًا ماتكون درجة حرارة الورقة بعد ذلك أقل من درجة حرارة الوسط، خاصةً عند درجة حرارة للوسط أعلى من ٣٠ ْم[٨]. وتتوقف نقطة اتزان أو انقلاب درجة حرارة النبات على كل من البناء النسيجي للورقة والطاقة الإشعاعية. فترتفع درجة حرارة الورقة عندما تكون درجة حرارة الهواء أقل من نقطة الانقلاب. وسوف تتناسب درجة الحرارة المتحصل عليها مع سرعة الهواء، وذلك كما تمت مناقشته بعد ذلك في هذا الفصل. وتصبح درجات حرارة الورقة أبرد من درجة حرارة الوسط المحيط عندما ترتفع درجة حرارة الهواء عن نقطة الاتزان. وقد تؤدي زيادة سريان الهواء في تلك الحالة إلى ارتفاع درجة حرارة الورقة بدلاً من خفضها نتيجة للانخفاض الحاد في النتح والمتولد من الضغوط الميكانيكية[٩]. وقد تم توضيح تلك التأثيرات بشيء من التفصيل بواسطة (Salisbury)[10] والتي تم تلخيصها تحت العنوان الجانبي الخاص بحركة الهواء. وعادةً ما تكون المواد المتخمرة ودرجات حرارة الهواء في البيوت المحمية أعلى منهما في الهواء الخارجي؛ نظراً لأن انتقال الحرارة بالحمل في البيت المحمي يكون أقل منه في الوسط المفتوح. فعلى سبيل المثال، في الغالب ما يكون معدل سريان الهواء منخفضًا في البيوت المحمية.

ويُشار إلى درجة حرارة الهواء بدلاً من درجة حرارة الورقة بالنسبة لمعظم المعلومات المرتبطة بتأثير درجة الحرارة على نمو وتطوّر النبات. ويرجع السبب في ذلك في بعض الأحوال إلى أن بيانات الأرصاد تتعامل مع درجة حرارة الهواء، وفي

البعض الآخر إلى صعوبة قياس درجة حرارة الورقة بدقة[١١]. ويجب أن يشار إلى أن درجة حرارة ورقة فردية نادراً ما تمثل متوسطًا، أو حتى أعلى درجة حرارة للنبات. وعادةً ما تكون الورقة المختارة للقياس ورقة عُلويّة بحيث تستقبل المستوى الكامل من الطاقة الإشعاعية. ولكن نظراً لأنه من الأرجح أن تستقبل تلك الورقة أيضًا أكبر معدل سريان هوائي وأقل ضغط بخاري، فإن تلك الورقة قد لا تكون الورقة ذات أعلى درجة حرارة.

ويصعب على النباتات- بعكس الحيوانات- الاحتفاظ بدرجة حرارة ثابتة للأنسجة والخلايا مع تغيّر درجة حرارة الوسط. وبالأحرى، تكون أوراق وسيقان وجذور النباتات عند درجات حرارة أعلى من أو أقل من نطاق درجات حرارة الهواء أو التربة بعدة درجات. وتكون النتيجة أن أي تغيّر في درجة حرارة الوسط يؤثر تأثيراً فعّالاً على النبات من حيث النمو والأيْض الحراري[١٢]. وقد يصعب نتيجة للتغيّرات الكبيرة في درجة حرارة كل من الوسط والتربة استنباط أي علاقات دقيقة تربط بين العمليات التي تجرى للنبات وظروف درجة حرارة الوسط.

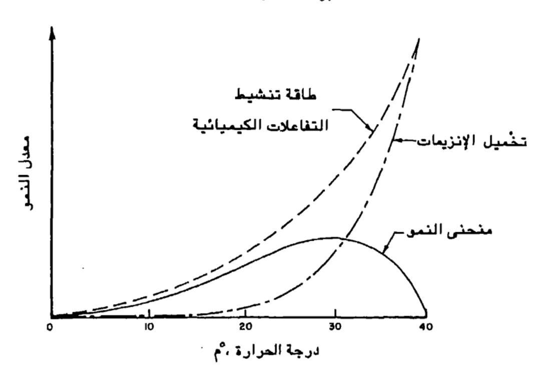
وتعتمد درجة حرارة الأوراق على عدة عوامل منها: (أ) الوقت أثناء النهار (منتظم أو توجد تغيّرات دورية)؛ (ب) الشهر من العام (تغيّرات موسمية)؛ (جـ) تجمع السحب وسرعة الرياح (تغيّرات غير منتظمة، تغيّرات على المدى القصير)؛ (د) وضع النباتات بالنسبة للنباتات المحيطة به (معرضة للشمس أو الظل)؛ (هـ) ارتفاع النبات فوق سطح التربة؛ (و) أبعاد الورقة نفسها.

وتعتمد درجة حرارة الجذر أساسًا على عدة عوامل مثل: (أ) الوقت من اليوم؛ (ب) الوقت من السنة؛ (جـ) العمق تحت سطح التربة؛ (د) خواص التربة لإيجاد الامتصاص وانتقال الحرارة (مرتبط أساسًا برطوبة التربة والكثافة الظاهرية وطبيعة سطح التربة)؛ و(هـ) نوع وعاء الجذر. وهكذا، تتضمن ثُلة الأوراق وشكل توزيع التربة تركيبة معقدة لمنظومة درجات حرارة تتذبذب بسرعة مع كل مجموعة من الأوراق والجذور، وتستجيب لنمط فريد من تذبذبات درجات الحرارة[١٢].

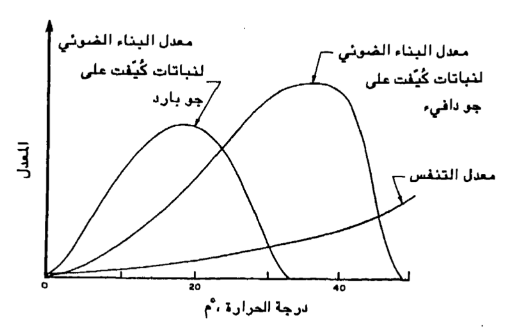
وتعتبر العلاقة بين درجة حرارة الهواء ونمو النبات معقدة للغاية، وذلك بناءً على العدد الضخم من المراجع المرتبطة بهذا الموضوع[٢، ٦، ١٠، ١٣ إلى ٢٤]. وتتحكم درجة الحرارة في ردود أفعال العديد من العمليات الأيْضية التي تسبب نمو النباتات،

الشكلان رقما (٣, ١٠) و(٤ , ١٠). وتقول القاعدة العامة من قانون (Van't Hoff's) أن معدل رد الفعل الكيميائي يتضاعف عند كل ارتفاع في درجة الحرارة ١٠ °م، وقد زاد - وتعتبر تلك النقطة الحاسمة- وجود عوامل أخرى لاتدخل في تلك التفاعلات. وعلى ذلك لابد من معارضة الإغراء القائل بأنه يمكن مناقشة تأثيرات عامة لدرجات الحرارة في صور نظم إنزيمية بدلاً من صور الكائن الحي ككل، أو على الأكثر واحد أو اثنان من العمليات الفسيولوجية. ويرجع السبب في ذلك إلى أن النمو يتولد من ردود أفعال معقدة والتي- بسبب تأثيرات التداخل الجانبية والتفاعلات- لاتستجيب لدرجة الحرارة بنفس الطريقة. وتعتبر العلاقات التي تربط بين درجة حرارة الوسط المحيط بالنبات ومعدل النمو معقدة للغاية. وحتى مناقشة تأثيرات درجة الحرارة في صور عمليات فسيولوجية-مثل البناء الضوئي والتنفس والنقل من مكان إلى آخر والنتح أو امتصاص الماء والأيون- يمكن أن تسبب إرباكًا؛ نظرًا لأن معدل أداء أي عملية من تلك العمليات قد يتفاعل مع معدل أداء عملية أخرى. فنجد على سبيل المثال، بالنسبة لأوراق البطاطس، أن كل ارتفاع في درجة الحرارة ١٠ °م يؤدي تقريبًا إلى مضاعفة معدل التنفس. ولكن يجب مراعاة أن البناء الضوئي الكلي والصافي قد يصلا إلى أقصاهما عند درجة حرارة حوالي ٢٠ °م. ويميل البناء الضوئي الكلي إلى الانخفاض بزيادة درجة الحرارة عن ٢٠ °م نتيجة تأثير عوامل أخرى محددة. وعادةً مايكون لتركيز(ك أ $_{٢}$) دور في ذلك، مع أن ارتفاع مستوى (ك أ $_{٢}$) قد يؤدي إلى زيادة مؤقتة في معدل البناء الضوئي الكلي. ويتناقص البناء الضوئي بالطبع بسرعة عند درجة حرارة أعلى من ٢٠ °م نتيجة لزيادة معدل التنفس، وقد تنحدر قيمته إلى الصفر عند درجة حرارة حوالي ٣٨ °م [١٧].

و يوجد لدى كل النباتات درجات حرارة دنيا ومثلى وعظمى للنمو. وتوضح الأشكال أرقام من (٣, ١٠) إلى (٦ , ١٠) والجدول رقم (١ , ١٠) درجات الحرارة الرئيسية الثلاث. ويتم التحكم في استجابة درجة الحرارة بواسطة تفاعل معقد مرتبط بالوراثة والتطوير وعوامل استنباتية تعمل على تكييف الاستجابة البيئية للنبات. وتعتبر الحدود القصوى والدنيا لدرجات حرارة النبات الحدود التي لا تعمل عندها الإنزيمات، الشكل رقم (٣, ١٠). فتؤدي زيادة درجات الحرارة عن تلك الحدود إلى تدمير البروتين وشل عمل الإنزيمات وتكسير الخلايا العضوية [٥]. وقد

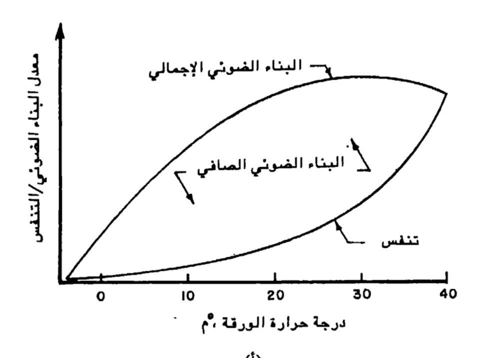


شكل (٣ , ١٠). تأثير درجة الحرارة على معدل النمو لنباتات ذات رطوبات معتدلة[١٦]

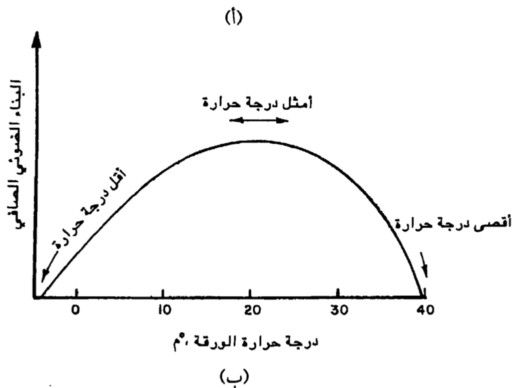


شكل (٤ , ١٠). منحنيات نظرية لمعدل البناء الضوئي الصافي ومعدل التنح كدالة في درجة الحرارة بالنسبة لنباتات كُيّفت على ظروف باردة ودافئة.



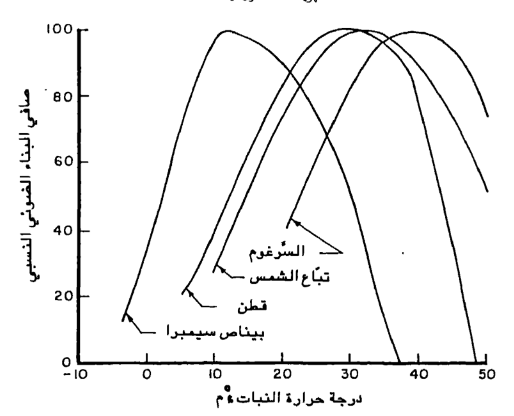


(أ)



(ب)

شكل (٥ , ١٠). رسم يمثل استجابة معدل نمو النباتات لدرجة الحرارة، كما يوضح الثلاث درجات حرارة الرئيسية (الأقل والعظمى والمثلى).



شكل (٦ , ١٠). معدل البناء الضوئي النسبي لأنواع عديدة من النباتات كدالة في درجة الحرارة

جدول (١ , ١٠). درجات الحرارة الأساسية والضرورية لعملية البناء الضوئي عند درجة تشبع من الإضاءة لمجموعات من أصناف نباتية مختلفة.

	درجة الحرارة الصغرى	درجة الحرارة المثلى	درجة الحرارة العظمى
نباتات استوائية	٥-٧	٣٥-٤٥	٥٠-٦٠
نباتات محاصيل زراعية	-٢ إلى فوق الصفر	٢٠-٣٠	٤٠-٥٠
نباتات شمسية	-٢ إلى صفر	٢٠-٣٠	٤٠-٥٠
نباتات ظل	-٢ إلى صفر	١٠-٢٠	٤٠
نباتا الألب ذات التزهير الطبيعي	-٧ إلى -٢	١٠-٢٠	٣٠-٤٠
نباتات استوائية ودائمة الخضرة	صفر إلى ٥	٢٥-٣٠	٤٥-٥٠

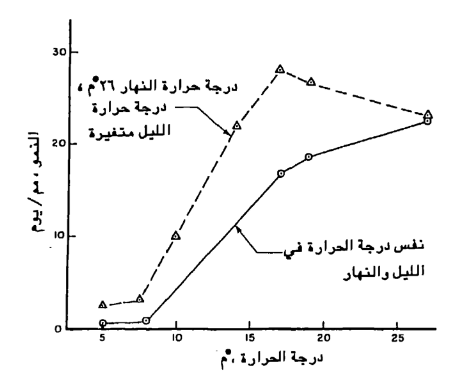
يؤدي تكون ثلوج بين خلايا النباتات عند درجات حرارة تحت درجة التجمد إلى التدمير المباشر للخلايا النباتية. وقد ينتج من البرد أيضًا تلف نتيجة لسحب الماء من بروتوبلازما الخلية في شكل حبيبات ثلجية. ويمكن زيادة مقاومة خلايا النبات عند القيم المتطرفة من درجات الحرارة سواء العظمى أو الصغرى عن طريق عملية تأقلم على مراحل أو التصليد[١٩ إلى ٢٣].

ويمكن تحديد درجة الحرارة العظمى والدنيا بدقة في بعض الأحيان[٢٤]، ولكن في الحقيقة تعتمد البيانات الأخرى على عوامل أخرى للوسط، وعلى الطريقة التي تمت بها الاختبارات. وسوف تعتمد درجة الحرارة الدنيا على مدى سرعة الوصول إلى الدرجة الدنيا، وعلى الوقت الذي يستغرق عند تلك الدرجة أثناء فترة التدفئة أو الارتفاع مرة أخرى. وسوف تعتمد درجة الحرارة الدنيا أيضًا على ما إذا كانت درجة الحرارة منخفضة باستمرار أو وجود دورات من درجة الحرارة بين نهار دافيء وليلة باردة. ويحتمل أن تعتمد درجة الحرارة العظمى على معدل التغيّر، وأيضًا على فترات التغيّر مثلهما مثل مدى توافر الماء والرطوبة النسبية[٢٤].

وتعرف درجة الحرارة المثلى للنبات على أنها أعلى درجة حرارة تتم عندها أي عملية بمعدل ثابت. و بناءً على هذا التعريف، فإنه من غير المرجح أن يحدد أحد بثقة درجة حرارة معينة على أنها درجة حرارة مثلى لنمو صنف معين. وإذا كانت الحالة كذلك، فإن اختلاف العمليات الفيسيولوجية يتبعه اختلاف درجات الحرارة المثلى، كما أن تلك الدرجة لنمو نبات معين قد تقلل من معدل نمو نبات آخر. فيمكن على سبيل المثال أن تُحفّز درجات الحرارة المرتفعة في الليل من النمو على حساب معدل إنتاج المادة الجافة[٢٥]. ونجد الأكثر من ذلك، أن كل مرحلة من مراحل نمو النبات يكون لها درجة حرارة مثلى تختلف عن درجة حرارة المرحلة الأخرى، وذلك لتأثرها بكثافة الحزمة الإشعاعية وبما هو متاح من الماء والغذاء[٢٦]. فنجد على سبيل المثال -عند عمر معّين لنباتات الفلفل- أن درجة الحرارة المثلى بالنسبة لاستطالة الساق تنخفض من ٣٠ إلى ٨ ْم، وأن درجة الحرارة المثلى بالنسبة لوزن الثمار الكلي يتزحزح من ٢٠ إلى ١٢ ْم[١٣]. فتتزحزح درجة حرارة نبات قضمة التنين من ١٨ إلى ٧ ْم عند تقدم عمر النبات من ٤ إلى ٢٤ أسبوعًا[١٥]. ويبدو في تقرير

Moore[27] وجود تفاعل واضح بين درجة الحرارة والطاقة الإشعاعية. وقد أوضح أن درجة الحرارة المثلى لطماطم البيوت المحمية تتراوح من ١٥ إلى ١٩ °م إذا كانت السماء ملبدة بالغيوم، ومن ٢٠ إلى ٢٧ °م إذا كانت السماء صافية مشمسة.

ويعتبر مفهوم الدورية الحرارية من الأشياء التي تزيد من تعقيد الوصول إلى درجات حرارة مثلى. وتقترح تلك الدورية وجود العديد من النباتات وخاصةً الخشبية منها، تنمو بمعدل أفضل عندما تكون درجة حرارة الليل أقل من درجة حرارة النهار[١٣، ١٤]، الشكل رقم (٧ , ١٠). و يعني ذلك أنه يجب أن يكون لأصناف النباتات التي تتعامل مع الدورية الحرارية درجتان حراريتان مثليتان، واحدة أثناء النهار والأخرى في الليل، وذلك عند كل مرحلة من مراحل تطور النبات. ومن الناحية العملية ينمو العديد من المحاصيل فى البيوت المحمية عند درجات حرارة قياسية. ولا يوجد الكثير مما يقال عن درجات حرارة النهار، ولكن تُرك الانطباع أن درجات حرارة الليل تعتبر المثلى. فعادة ما تنمو نباتات الزينة عند درجات حرارة أثناء الليل تتراوح من ١٧ إلى ٢١ °م والورود من ١٥ إلى ١٧ °م والأزهار عند ١٥ °م[١٥]. وتنمو نباتات قضمة التنين عند درجات حرارة ليلية تتراوح من ٨ إلى ١٠ °م في الشتاء، ولكن تتغيّر تلك الدرجات إلى المدى من ١٣ إلى ١٥ °م في فصلي الربيع والخريف. وفي الغالب تنمو شجيّرات الفوشية الزهرية عند درجات حرارة ليلية تتراوح من ١١ إلى ١٣ °م، مع أن تلك الشجيّرات تنمو وتزهّر جيداً عند درجة حرارة ١٨ °م إذا حُفظت درجة حرارة النهار عند ٢٢ °م. ومن الواضح أنه لا يمكن خلال فترة النمو الاحتفاظ بدرجات حرارة الليل المقتبسة للعديد من محاصيل البيوت المحمية باستثناء في الولايات الشمالية حيث تبقى درجات الحرارة الخارجية في نهاية الخريف وفي فصل الشتاء أقل من درجات الحرارة الموضحة. وهكذا، يوجد العديد من العوامل التي تؤثر على درجات الحرارة الليلية المثلى. ويوضح الجدول رقم (٢ , ١٠) المدى الموصى باستخدامه للعديد من محاصيل البيوت المحمية.



شكل (٧ , ١٠). معدل النمو في ارتفاع نبات الطماطم

وقد أدى انخفاض درجة حرارة الليل إلى إنتاج محتوى سكري مرتفع لبعض النباتات. وقد يكون ذلك أحد الأسباب التي تؤكد زيْف القول إن درجة الحرارة الليلة المنخفضة تؤثر على نمو بعض الأصناف. وقد اتضح أن انخفاضات درجة حرارة الليل قد أدت إلى زيادة نمو الجذور بالمقارنة بنمو براعم أو فروع جديدة لنباتي البطاطس والتبغ، وإلى زيادة انتقال السكريات إلى الجذور؛ ويكون ذلك إما نتيجة لزيادة نمو الجذر أو أن السبب غير واضح. ويمكن تقليل فواقد الكربوهيدرات خلال التنفس عن طريق خفض درجة حرارة الليل[١٦].

جدول(٢ , ١٠) . درجات الحرارة الليلية الموصى باستخدامها والتي تنمو عندها محاصيل البيوت المحمية.

أصناف المحاصيل	درجات الحرارة الليلية ، °م	ملاحظات
زهرة النجمة		
كاليستيفاس تشانينس	١٠ - ١٣	أيام طويلة في مراحل النمو المبكرة
الصحراوية		
أصناف رودوديندرون الكلسية	١٦ - ١٨	نمو خضري ورفع درجات حرارة محددة مطلوبة لبدء التزهير والنمو
	١٦	
هيربوهايدريا		نمو خضري وبدء تزهير وتطور ؛ ويبدأ التزهير أيضًا مع الأيام الطويلة ودرجات الحرارة المرتفعة إذا كانت كثافة الإشعاع الضوئي مرتفعة
الآذريون	٤ - ٧	
أوفيسيناليس كالا	١٣ - ١٦	
أصناف زويتتد شيا		انخفاض إلى ١٣ °م عند تزهير النباتات
قرنفل	١٠ - ١١ شتاءً	
ديانثيوس كاري فيلاس	١٣ ربيعًا	تضبط درجات الحرارة الليلية على حسب فصول السنة بالنسبة لكثافة أشعة الضوء
	١٣ - ١٦ صيفًا	

تابع جدول (٢ , ١٠).

أصناف المحاصيل	درجات الحرارة الليلية ، °م	ملاحظات
الأقحوان (زهرة الذهب) موريفو	١٦ قطف الأزهار ١٧ - ١٨ نباتات كرشيه	درجات الحرارة عند بدأ التزهير حرجة ؛ والبداية المنتظمة مهمة للغاية للأقحوان وتقسيم النباتات المزروعة
بخور مريم	١٦ - ١٨	إنبات
أنديسام	١٣	نبتات طبيعية
	١٠ - ١١	نمو وتزهير
نباتات الزينة	١٨ - ٢١	تختلف الأصناف من حيث درجات الحرارة ومتطلبات الطاقة الإشعاعية
الفوشية هيدريدا	١١ - ١٣	أيام طويلة لبدء التزهير
الغرنوقي بيلارجونيم هورتورام	١٣ - ١٦	١٦ - ١٨ للمحاصيل السريعة عند طاقة إشعاعية عالية .
الغردينيا جراندنيلورا	١٦ - ١٧	ينتج من درجات الحرارة المنخفضة شحوب يخضوري لنقص الحديد وتزيدالحرارة

تابع جدول (٢, ١٠).

أصناف المحاصيل	درجات الحرارة الليلية ، °م	ملاحظات
		العالية من بتر البراعم
جلوكسينيا سينينجيا سبيسيا	١٨ - ٢١	تزيد درجات الحرارة المنخفضة من لمعان البراعم
الكوبية	١٣ - ١٦	درجات حرارة محددة لبدء
ماكروفيلا	١٦ - ١٧ (دفع)	التزهير والنمو
رفيف تنجيتانا	١٦	تؤثر درجة الحرارة على معدل تطور الزهور وحدوث تفتيت وعفن فطري
السحلبية أصناف كاتليا	١٦	درجة الحرارة المطلوبة للهايبرايد مرتبطة بأصناف البازنتال
السحلبية		
أصناف فالانوبيس	١٨	
أصناف سبميديام	١٠	
سيبريبيديام	١٠ - ١٣	
البونسيتة يوفوربيا بولشريما	١٨	نموخضري ، تتغير فترة الإضاءة المطلوبة مع درجة الحرارة ،

تابع جدول (٢ , ١٠).

أصناف المحاصيل	درجات الحرارة الليلية ، °م	ملاحظات
		يتأثر نمو القنابة بدرجة الحرارة
ورود		
أصناف وردية	١٦ - ١٧	
السمكة		نبتات شتوية وربيعية وخريفية
أنتيريهيام مياز	٩ - ١٠	
نبتة شتلات		تسقط البراعم عند درجة حرارة
ماثيولا إنكانا	٧ - ١٠	أعلى من ١٨ °م لمدة ست ساعات في اليوم والنمو كمحصول حقلي يكون في كاليفورنيا وأريزونا .
الطماطم	١٦ - ١٩	درجات حرارة جافة من ١٢ إلى ٢٧ °م في الأيام المشمسة
الخس	١٣	١٧ - ١٨ °م في الأيام الملبدة بالغيوم و٢١ - ٢٦ °م في الأيام المشمسة
الخيار	١٨	٢٤ °م في الأيام الملبدة بالغيوم و٢٧ °م في الأيام المشمسة

وقد نتج عن مفهوم الدورية الحرارية استنتاج مفهوم درجة حرارة نهار/ ليل، والذي يقترح برنامجًا مستمرًا لدرجة الحرارة مشابه للتغيّرات الجوية الطبيعية. وقد أدى ذلك إلى الحصول على نمو للنباتات أفضل أو على الأقل أكثر "طبيعي". وقد يحدث ذلك على النحو المشار إليه، ولكن غالبًا- ولسوء الحظ-ما يتحصّل على البرنامج الدوري أثناء فصل النمو من السجلات في صورة بيانات مناخية ذات قيم متوسطة. وقد تكون هذه الطريقة غير واقعية بمعنى أن البرنامج الدوري الناتج يحتمل أن لايحدث في الطبيعة، وأنه لايمثل في الحقيقة دورات درجة الحرارة الطبيعية. ونتيجة لذلك، فإن النباتات قد لاتنمو مع برنامج لدرجات الحرارة مثلما تنمو لو كان البرنامج يستخدم القيمة المتوسطة لدرجة الحرارة أو متوسط درجات حرارة اليوم ومتوسط درجات حرارة الليل[٢٨]. فإذا كان المطلوب تطور ونمو "طبيعي" للنباتات-كما يجب لتمكين إجراء دراسات على بيئة مهيئة أو بيوت محمية للتعامل مع الإجهاد الفيسيولوجي- فإن أفضل طريقة تكون عن طريق توفير درجة حرارة متوالية وموسمية تأخذ في الحساب متطلبات درجات الحرارة المختلفة عند كل مرحلة من مراحل النمو[٢٩].

وغالبًا ماتتفاعل درجة الحرارة مع استجابات النباتات للعوامل البيئية الأخرى، مثل التحكم في فترات الإضاءة الخاصة بالتزهير وتكوين الدرنات ومرحلة السُبات. وتتطلب بعض النباتات مثل (*Rudbeckia* and *Delphinium Cultor-um*) أيامًا طويلة إذا كانت درجات الحرارة منخفضة، ولكن يحتاج إلى يوم متعادل عند ارتفاع درجة الحرارة[٣٠]. وسوف يُنتج عُشب البَغونيَة، والذي لايشكل فعليًا أزهار مؤنثة عند ١٥ °م بصرف النظر عن طول النهار، حوالي ٢٥٪ من الأزهار المؤنثة عند ٢١°م، ولكن فقط إذا كانت الأيام طويلة[٣١]. ويذهب العديد من النباتات الخشبية مثل (*Betula Papyrifera*) في سُبات عندما تكون ساعات النهار قصيرة، بينما تستمر في النمو إذا كانت طويلة. وقد تفشل ساعات النهار الطويلة في منع السُبات إذا كانت درجة حرارة الليل منخفضة (١٤ °م)؛ وقد تستمر النباتات في النمو حتى في الأيام القصيرة إذا كانت درجة الحرارة مرتفعة (٣٠/ ٢٦°م نهار/ ليل)[٣٢]. وسوف تتكون الدرنات عند نمو البطاطس تحت ظروف يوم طويل (١٦-ساعة نهار) إذا كانت درجة حرارة اليوم ٣٠°م أو أعلى بصرف النظر عن درجة

حرارة الليل. ولكن تتكوّن الدرنات عند درجة حرارة نهار منخفضة إذا كانت درجة حرارة الليل أقل من درجة حرارة النهار. ويحدث أقصى تكوّن للدرنات تحت ظروف يوم-قصير (٨-ساعة نهار) عندما تتساوى درجات حرارة كل من الليل والنهار (المثلى ١٧ °م)(١٦). ولكن تتراوح درجة حرارة الليل المثلى لإنتاج الدرنات تحت ظروف أيام طويلة من ١٠ إلى ١٤ °م (١٣). وسوف تتكون الدرنات لبعض الزراعات مثل الكاتادين عندما تتراوح درجات حرارة الليل من ٢٤ إلى ٢٦ °م بالنسبة للأيام القصيرة.

وقد وجد أن التفاعلات بين درجة الحرارة ونوع الوعاء تكون مهمة وحاسمة للنمو المبكر لهجين نبتات حوْليّة صغيرة تحت ظروف بيئية مهيئة(٣٣).

الرطوبة النسبية

(RELATIVE HUMIDITY)

الرطوبة النسبية عبارة عن ضغط بخار الماء الفعلي في الهواء إلى ضغط بخار الماء إذا كان الهواء مشبعًا بالرطوبة عند نفس درجة الحرارة. ويتحرك بخار الماء من مكان إلى آخر نتيجة فرق ضغط بخار الماء؛ وعلى ذلك، تؤثر الرطوبة النسبية على عملية النتح بواسطة التأثير على فرق ضغط بخار الماء بين الورقة والهواء. ويتوقف معدل النتح على: (أ) درجة تفتح المسام الموجودة بالورقة، (ب) فرق ضغط بخار الماء بين ورقة النبات والهواء، (جـ) مدى اضطراب الهواء. ويؤدي الانخفاض الحاد في الرطوبة النسبية للهواء الخارجي إلى زيادة فواقد التبخير بمعدل أكبر من سعة النبات على تعويض الماء المفقود، الأمر الذي يؤدي إلى ذبول النبات. وعامةً سوف يحدث نمو طبيعي للنبات عند رطوبات نسبية بين ٥٠ إلى ٨٠٪.

وتؤثر الرطوبة النسبية أو بالأحرى ضغط البخار على معدل انتقال الحرارة الكامنة بالنتح من الأوراق. وتعني الرطوبة النسبية المنخفضة معدل نتح مرتفع؛ نظرًا لأن الرطوبة النسبية المنخفضة تمثل عادة ضغط بخار ماء منخفض. وقد نُشر في بحث عدم وجود تأثير ملموس للرطوبة النسبية في المدى من ٤٠ إلى ٨٠٪ على

درجة حرارة أوراق النبات عند درجة حرارة للوسط ٢٠ْم، بينما وضح هذا التأثير عندما ارتفعت درجة حرارة الهواء إلى ٤٠ْم [٣٤]. ويرجع السبب في ذلك إلى أن فرق ضغط بخار الماء بين ٤٠ و٨٠٪ رطوبة نسبية كان ٠,٩٥ (كجم/ م٢) عند درجة حرارة ٢٠ْم، بينما ارتفع هذا الفرق إلى ٣ (كجم/ م٢) عند درجة حرارة للهواء ٤٠ْم. وقد تفشل أيضًا الرطوبة النسبية المنخفضة في زيادة معدلات النتح إذا تسببت في إغلاق ثغيّرات الأوراق.

وقد أوضح (Krizek)[35] أن وضع البذور في غرف إنبات ذات تصميم خاص مع رطوبة نسبية ٦٥٪ والتحكم في كل العوامل الأخرى عند المستوى الأمثل قد أدى إلى زيادة معدل نمو البذور. وقد تم التحكم في عوامل بيئية أخرى عند مستويات مثلى.

وقد وجد في دراسة عن الجَزَر عدم إطلاق بَوْغات *(Alternaria dauri)* عندما كانت أوراق الجزر مبللة[٣٦]. وقد تزايد إطلاق البوغات مع تجفيف الأوراق وخفض الرطوبة النسبية وزيادة سرعة الرياح.

وقد أوضح (Klueter et al.)[36] أنه يجب عند التحكم في بيئة النبات المحافظة على رطوبة نسبية ٦٠٪. وقد أوضح آخرون أن زيادة الرطوبة النسبية من ٤٠ إلى ٦٥٪ عند درجات حرارة ٢٤/ ١٨ْم (نهار/ ليل) قد أدى إلى زيادة معدل نمو بذور الفَتيَّة الزرقاء الفضفاضة والبطونية الوردية وعُقاب الآذَرْيون من مرتين إلى خمس مرات[٣٨]. وقد نشر في بحث عدم وجود أي تأثير واضح على النباتات سالفة الذكر عند زيادة الرطوبة النسبية إلى ٩٠٪[٣٨]. وقد أوضحت نفس الدراسات تأثر النمو جذريًا عند استخدام مستويات منخفضة من الرطوبة النسبية بالرغم من وجود مستويات مناسبة من الإضاءة ودرجات الحرارة.

وقد نشر في بحث (Krizek Ambler)[39] دراسة عن ثلاث زراعات للقطن أوضحت أن نوع الوعاء سواء كان طَفَليًا أو بلاستيكيًا كان لهما تأثير جوهري على امتصاص الفوسفور أكثر من تأثير الرطوبة النسبية. وقد أوضحت الدراسة أن أقصى امتصاص للفوسفور يتطلب رطوبة نسبية مرتفعة.

وقد أجريت دراسة في بيت محمي عن الطماطم، حيث تم تعريض بعض الثمار إلى ضوء الشمس وبعض آخر قد ظُلّل بالأوراق وبعض ثالث تم دهانه باللون

الأبيض أو الأسود مع رطوبة نسبية من ٥٠ إلى ٧٠٪ و من ٧٠ إلى ٩٠٪ في مقابل رطوبة نسبية ٥٠٪. وقد وُجد أن درجات حرارة كل ثمار الطماطم كانت أقل عند رطوبات نسبية مرتفعة(٤٠). وقد أوضحت الدراسة أن النباتات الطويلة قد أظهرت مدى التأقلم البنائي والذي يمكن ربطه مع التربة وظروف رطوبة الهواء(٤١). وقد حدد الباحثون علاوة على ذلك "أن ما كتب في هذا الموضوع مشوّش، كما أنه لايوجد عمل كثير تم إنجازه بالنسبة لتأثير الرطوبة".

وقد قيّم (Rawson et al.)[42] استجابة الرطوبة النسبية بالنسبة لثمانية أصناف من نباتات تنمو تحت ظروف قريبة من الظروف المثالية. وقد وجد أن نقص ضغط البخار قد أثر على معدل النتح لكل الأصناف. ولم يتأثر البناء الضوئي عند تغيّر المستوى الرطوبي المكافيء من ٨ إلى ٢٢ ملي بار من ضغط البخار.

وينتج عن الرطوبة النسبية المرتفعة نباتات طويلة ممتلئة بالعُصارة، بينما تؤدي الرطوبة النسبية المنخفضة مع وجود درجات حرارة مرتفعة إلى حرق الأطراف النامية من النباتات. ويعتبر التأثير الثانوي للرطوبة النسبية خاصًا بنمو الكائنات الفطرية المسببة للأمراض. فقد لايحدث إنبات ونمو لتلك الفطريات حتى تصل الرطوبة النسبية إلى ٩٥٪.

الضوء

(LIGHT)

تعتبر التأثيرات البيولوچية للضوء ودرجة حرارة الجومن أهم المواضيع التي تهم الدارسين والباحثين في مجال البساتين والأبحاث البيئية. فتمد الطاقة الشمسية النبات داخل البيت المحمي بالضوء والإشعاع غيّر المرئي، بينما تستخدم أنواع عديدة من مصادر الإضاءة الصناعية داخل غرف تحكم بيئية لتزويد الإضاءة والتحكم في فتراتها داخل البيوت المحمية. ويوضح الجدول رقم (٣, ١٠) مقارنةلتوزيع الطاقة الإشعاعية بين مصادر إضاءة صناعية، وذلك بالمقارنة بضوء الشمس. ولقد كانت التأثيرات البيولوچية للأشعة غير المرئية، خاصة في المدى من ٧٥٠ إلى ٢٥٠٠ نانو-

جدول (٣,١٠). توزيع طاقة الإشعاع لمصادر إضاءة مختلفة لكل ١٠٠ واط إشعاع كلي

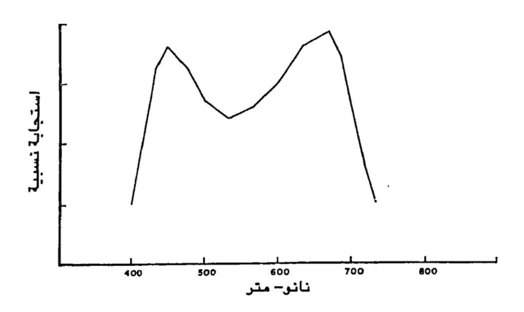
	فوق البنفسجية ٤٠٠ نانو-م واط	حمراء+ضوء ٤٠٠-٨٥٠ نانو-م واط	تحت الحمراء ٨٥٠-٢٧٠٠ نانو-م واط	حراري ٢٧٠٠ نانو-م واط	إشعاع كلي واط
فلوروسنت	٢	٣٦	١	٦١	١٠٠
معدن الهاليد	٤	٤١	٨	٤٧	١٠٠
صوديوم تحت ضغط عال	٠,٤	٥٠	١٢	٣٨	١٠٠
صوديوم تحت ضغط منخفض	٠,١	٥٦	٣	٤١	١٠٠
ضوء متوهج	٠,٢	١٧	٧٤	٩	١٠٠
ضوء الشمس	٦	٥٩	٣٣	٢	١٠٠

ملحوظة: نانو- م = $١٠^{-٩}$ م

م مهملة لوقت قريب باستثناء تأثيرها في رفع درجة حرارة كل من الوسط والنبات. وقد نشر حديثًا وجود بعض أصناف من النباتات حساسة-حراريًا وتتفاعل عكسيًا خاصةً مع الأشعة ذات الموجات الطويلة[١٤٤].

الضوء والإشعاع (Light and Radiation)

تستجيب النباتات لكل من كمية وفترة الإضاءة. ويعتبر البناء الضوئي الوظيفة الرئيسية للضوء، حيث تُحول طاقة الإشعاع كلاً من ثاني أكسيد الكربون والماء إلى كربوهيدرات بواسطة عمليات كيميائية ضوئية وكيميائية حيوية. و يعتمد طيف عمل البناء الضوئي التقليدي، الشكل رقم (٨,١٠)، أساسًا على طيف امتصاص الكلوروفيل والذي يمكن الحصول عليه باستخدام كمية أشعة أقل من

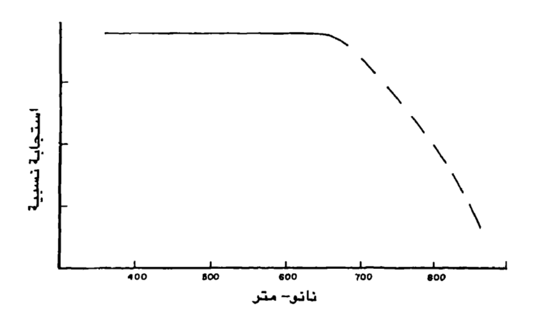


شكل(٨ , ١٠). فعل البناء الضوئي التقليدي بناءً على امتصاص الكلوروفيل

الأشعة المتشبعة. ويعتبر منحنى الاستجابة للبناء الضوئي، والمتمثل في قمة المنطقة الحمراء والزرقاء في الطيف، مناسبًا لأصناف قليلة؛ نظرًا لاعتماد عملية البناء الضوئي على الطيف أو وجود مستويات طاقة منخفضة. وقد يستجيب البناء الضوئي لأغلب النباتات للإشعاع دون الاعتماد على الطيف في حالة توافر معدلات طاقة كافية، الشكل رقم (٩ , ١٠).

وينظم الضوء أيضًا عملية التشكل والتطور. فقد تتطلب استجابات النباتات للضوء- والتي يتم التحكم فيها بواسطة مستويات طاقة منخفضة بدلاً من البناء الضوئي- فترات أقل ومتطلبات طيفية محددة. فنجد فى بيئات ضوء النهار حدوث استجابات التشكل الضوئي عند مستويات إشعاعية لأقل نمو. ونجد في داخل المنشآت، حيث ضوء النهار غير متاح، أنه من الضروري إضافة مصابيح متوهجة إلى نظام الضوء الكثيف لإشباع المتطلبات الطيفية لاستجابات النمو.

ويمكن الحصول على الإضاءة الصناعية التي تستخدم لإطالة النهار من مصادر الضوء ذات الطاقه المنخفضة. وتحدث كل من تفاعلات الفترة الضوئية والتشكل

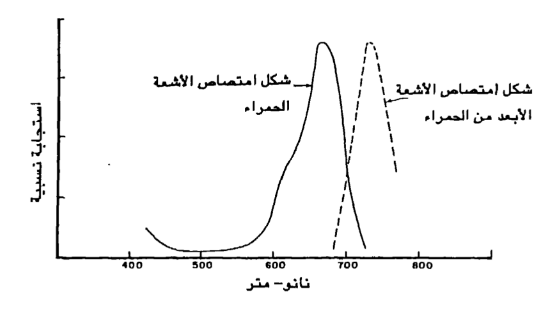


شكل (٩ , ١٠). تأثير الطيف على النمو الخضري بناءً على المادة الجافة المنتجة

الضوئي عند أو أقل من ٩ , ٠ (واط/ م٢). وتستخدم المصابيح المتوهجة حيث تتطلب استجابات أقصى تشبع للفترة الضوئية والتشكل الضوئي انبعاث طيفي مساو لكمية من الأشعة الحمراء (٦٦٠ نانو- م) وتحت الحمراء (٧٣٠ نانو- م)، وذلك كما في الشكل رقم (١٠ , ١٠).

مستويات الإشعاع لنمو النبات (Radiation Levels for plant growth)

تعيش النباتات لأغراض الزينة عند مستويات إضاءة منخفضة حتى ٣, واط/ م٢. ولا يوجد عند هذا المستوى المنخفض من الإضاءة أي تأثير على النمو. ونتيجة لذلك، فإن دورات ضوء/ ظلام وتفاعلات درجات الحرارة نادراً ما تجد اهتمام. و يتغيّر اختيار نوع المصابيح المستخدمة لتزويد هذا المستوى من الإضاءة مع مميزات التقنية في تصميم المصباح. ولكن في الغالب ما يتجه التركيز صوب أ داء الألوان و نوع وسط الإضاءة المتولد في المحيط الفعّال أو مكان العمل. وفي البيت،



شكل (١٠ , ١٠). تأثير الطيف على التصوير الضوئي الملون

تعتبر تجميعة من مصابيح متوهجة براقة منخفضة القدرة مع مصابيح فلوروسنت من المصابيح المفضلة، كما تعتبر المصابيح ذات شدة التفريغ المرتفع أو المصابيح المتوهجة البراقة ذات القدرة المرتفعة هي من الاختيارات المفضلة في المناطق التجارية.

ويمكن الحصول على تنظيم لاستجابة الفترة الضوئية مع إشعاع شدته ٩ , ٠ واط/ م٢. و يطلق على هذا الإشعاع تقليديًا " نظام إضاءة منخفض الشدة ". ويتطلب من هذا النظام عمل ضوء معكوس وإضاءة صبغية ومستقبل ضوئي. ويعتبر مدى استجابة النبات (من إنبات واستطالة وامتداد ورقي وتزهير وإنتاج ثمار وتلوين) لنظام الإضاءة الصبغية شاملاً، و يتوقف التحكم في كل منها على مدى خبرة المربيين التجاريين(٥٠ إلى ٥٥). ولا تتساوى كل مصادر الإضاءة من حيث كفاءة تشغيل الضوء الصبغي ورد الفعل الضوئي. وقد رتب (Cathey and Campell(56)) في تسلسل نسبي نشاط استجابات فترات الإضاءة المنتظمة كالآتي: توهج > صوديوم

ذي ضغط عال › معدن الهاليْد › فلوروسنت أبيض مبرد › زئبق نقي. و قد أضافا بعد ذلك أن مصابيِّح الصوديوم ذات الضغط المنخفض تعادل من حيث كفاءة التحكم في فترة الإضاءة الفلوروسنت. وتُسجّل مستويات الأشعة بوحدات واط لكل م^{2} (٤٠٠ - ٨٥٠ نانو- م) إلا إذا ذكر غير ذلك. ويحتوي الجدول رقم (٤ , ١٠) على معاملات تحويل مصادر محددة إلى وحدات أخرى.

وتستخدم إنارة صناعية ذات مستوى منخفض لإطالة اليوم، والتي تعني أنه لابد للنباتات من أن تنمو تحت مصدر إضاءة لمدة ٨ ساعات أو أكثر/ يوم. ويمكن أن يكون المصدر ذو شدة الإضاءة المرتفعة ضوء الشمس في البيت المحمي أو الضوء الصناعي في حجرة نمو النبات. ويمكن أيضًا استخدام الإضاءة في الحصول على أيام ذات نهار طويل عن طريق تقطيع فترة الظلام. و قد تحتاج بعض النباتات مثل فول الصويا لفترة تقطيع بالقرب من منتصف الليل لا تزيد على عدة دقائق. وقد تتطلب بعض الأصناف الأخرى مثل زهرة الذهب فترة تقطيع من ٣ إلى ٤ ساعات. ويمكن إحلال فترة التقطيع الطويلة ببرنامج إضاءة دوري بحيث تضاء المصابيح ٢٠ ٪ من الوقت (على سبيل المثال، ٢٠ ثانية/ دقيقة) أثناء فترة تقطيع ٤-ساعة.

وتُقسّم النباتات إلى أربع مجموعات أساسية بالنسبة لفترة الإضاءة ؛ يوم - قصير النهار، و يوم - طويل النهار، و يوم متوسط، ونباتات يوم-متعادل. و يعتبر تعريف كل من هذه الأنواع الأربعة ضروريًا لفهم الاستجابات لطول النهار.

وتحدث عملية تزهير نباتات يوم - قصير النهار فقط عندما يكون طول فترة النهار أقل من عدد الساعات الحرجة. ويؤثر قصر النهار عن الفترة الحرجة على عملية التزهير إلى الحد الذي قد يسبب قصر فترة الإضاءة في إعاقة عملية البناء الضوئي. ويوجد لدى بعض الأصناف ذات يوم-قصير النهار أطوال أيام حرجة للغاية، وسوف تحتاج تلك الأصناف إلى إضاءة مستمرة لعملية التزهير. ولازالت تُقسم تلك النباتات على أنها نباتات يوم-قصير؛ نظرًا لأن عملية التزهير تحدث بسرعة كبيرة في الأيام القصيرة.

وتُزهّر النباتات التي تحتاج إلى يوم- طويل النهار فقط عندما تكون فترة الإضاءة اليومية أكبر من عدد الساعات الحرجة. وتستعمل العديد من تلك الأصناف

جدول (٤ , ١٠). تحويل وحدات واط/ م٢ (٤٠٠-٨٥٠ نانو-م) إلى وحدات شمعة-قدم، ولاكس، أو ميكروآينشتانيوم لكل م٢ وثانية (٤٠٠-٧٠٠ نانو- م)

المصدر	لاكس لكل واط/ م٢	ميكروآينشتانيوم لكل واط/ م٢
ضوء النهار	١٨٣	٣,٤
متوهج أو برّاق	١١٦	٢,٣
فلوروسنت		
أبيض بارد	٣٣٤	٤,٥
أبيض دافيء	٣٥٠	٤,٦
ضوء خفي		
زئبق	٣٥٦	٤,٢
معدن الهاليْد	٢٩٢	٤,١
صوديوم تحت ضغط عالي	٢٩٦	٣,٦
صوديوم تحت ضغط منخفض	٤٥٩	٤,٣

ويتم الحصول على وحدات شمعة-قدم عن طريق قسمة الناتج بوحدات لاكس على ١٠

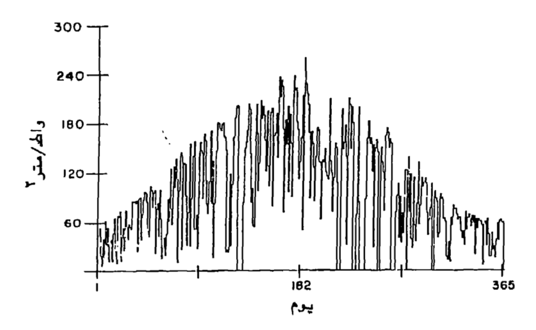
طريقة وَرْديّة عندما تكون الأيام أقصر من الطول الحرج. وتستجيب النباتات الخشبية للأيام الطويلة بالاستمرار في عملية النمو، كما تذهب في سُبات عند انخفاض فترة النهار إلى أقل من الفترة الحرجة.

وتُزهّر النباتات التي تحتاج إلى يوم متوسط خلال مدى ضيّق من طول النهار، عادةً ما بين ١٠ و١٤ ساعة. وقد تفشل هذه النباتات في عملية التزهير وتتوقف عملية النمو إذا قل طول اليوم عن الطول الأمثل. وتزهّر نباتات اليوم-المتعادل عندما تصل إلى حجم ملائم بصرف النظر عن طول النهار.

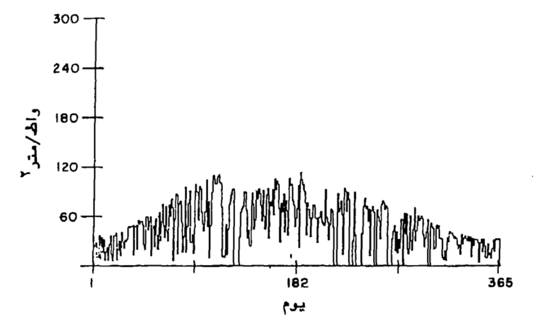
ويمكن أن تستمر النباتات في عملية النمو لعدة شهور عند التعرض لإشعاع شدته ٩ واط/ م٢. ويقوم مشرفو الحدائق بإنشاء مبان بسيطة نسبيًا في التصميم مع استخدام مصابيح فلوروسنت توفر هذا المستوى من الإضاءة مع

استخدام تلك المصابيح مع مدى واسع من أصناف البذور والشتلات[٥٨،٥٩،٦٠،٦١]. ويجب استخدام الضوء عند الأطوار الأولية للنمو تحت هذه الظروف لمدة ٢٠ ساعة في اليوم ليساعد في تعويض الإشعاع المتوافر في فترات محددة فقط. وقد يكون معدل النمو عند مستوى إشعاعي ٩ واط/ م^{٢} بطيئًا مع زيادة النباتات في الحجم، وذلك بالمقارنة بالنمو عند كثافات تدفق إشعاعية عالية. ولكن سوف تنمي معظم الأصناف نباتات زينة خضراء داكنة وأوراق كبيرة. وتتطور عملية نقل الغذاء والمواد المخزنة من الأوراق الأكبر في العمر إلى الأصغر بسرعة. وتبدأ النباتات في فقد ورقة كبيرة مع كل انبثاقة جديدة. وسوف يؤدي استخدام طريقة دورة إضاءة ١٢ ساعة ضوء و١٢ ساعة ظلام وأيضًا تقليل عدد مرات الإرواء والتسميد إلى إحداث وسط ينخفض فيه معدل النمو، وكذلك عدد الأوراق الجديدة المنبثقة مع الاحتفاظ بمعظم الأوراق القديمة. ويستخدم حاليًا وعاء-نمو نباتات زينة "متأقلمة" لمدة من ٤ إلى ١٥ أسبوعًا تحت مستوى إضاءة ٩ واط/ م^{٢} حتى يتم البيع للمستهلك[٦٢،٦٣]. ويمكن التعرف بسرعة على النباتات المتأقلمة عن طريق كل من معدل النمو البطيء والأوراق الخضراء الداكنة والتي تكون عريضة ومنبسطة، وأوراق جديدة قليلة، إذا وجدت، وأوراق قديمة مثابرة في مجرى التربة.

ومع أنه يمكن للنباتات أن تبدأ من البذور والشتلات عند مستوى إشعاعي ٩ واط/ م^{٢}، إلا أن الانتشار السريع يحدث عند التحول إلى ١٨ واط/ م^{٢} لفترة لا تقل عن ٦ إلى ٨ ساعات/ يوم. ونجد بالنسبة لتطبيقات البيوت المحمية أن كمية كبيرة من أشعة الشمس الساقطة على البيت المحمي تفقد - من ١٢ إلى ٥٠٪ اعتمادًا على السمت الشمسي وتصميم البيت المحمي- نتيجة للانعكاس والامتصاص بواسطة مادة الغطاء وهياكل المنشأة، الشكلان رقما (١١ , ١٠) و(١٢ , ١٠). ولكن عادةً ما يصل الضوء إلى مادة النبات إذا كانت شدته أعلى من ١٨ واط/ م^{٢}. و يحاول مسؤولو التكاثر- للحد من دخول الضوء والحرارة المصاحبة له إلى منطقة التكاثر- خفض المستوى الإشعاعي عن طريق تغطية البيت المحمي بمنقيات متعادلة (منقى أبيض وشبكة مصنوعة من البلاستيك أوالأقمشة). وتحتفظ جذور الشتلات عند



شكل (١١ , ١٠). مثال للإشعاع اليومي الخارجي (٤٠٠ نانو-م إلى ٨٥٠ نانو-م) لمنطقة واشنطن (حي كولومبيا).



شكل(١٢ , ١٠). مثال للإشعاع اليومي داخل البيت المحمي (٤٠٠ نانو-م إلى ٨٥٠ نانو-م) لمنطقة واشنطن (حي كولومبيا).

هذا المستوى من الإشعاع بمعدل نمو مماثل كما لو كانت الشتلات متصلة بالنبات. ويمكن تنسيق طول الساق وأفرع وألوان أوراق النباتات التي تنمو عند ١٨ واط/ م٢ عن طريق معاملة كل من درجات الحرارة والماء والغذاء[٦٤]. ويمكن الوصول بالعديد من النباتات التي تنمو للتزهير وإنتاج الثمار إلى النضج عند هذا المستوى من الإضاءة عن طريق زيادة فترة الإضاءة من ١٦ إلى ١٩ ساعة لبدء التزهير والنمو المبكر، ومن ثم خفض طول اليوم إلى المدى من ٨ إلى ١٢ ساعة للنمو. ولكن يبقى معدل النمو نسبيًا بطيئًا[٦٥,٦٦]. ويجب نقل النباتات إلى نظام ضوئي يتيح استخدام من ٢٤ إلى ٥٠ واط/ م٢، وذلك للوصول إلى معدل نمو طبيعي أكثر.

البيوت المحمية (Greenhouses)

تنمو النباتات على مدار العام داخل البيوت المحمية إذا توافرت إضاءة طبيعية كافية، الجدول رقم (٥, ١٠). ويوصى بتزويد الإضاءة الطبيعية في الشتاء، عندما تكون غير كافية بحوالي ٢٤ واط/ م٢ من ٨ إلى ١٦ ساعة/ يوم من مصادر الإضاءة الصناعية المختلفة. ويمكن أن يقلّد ذلك الإشعاع – عندما يندمج مع ضوء الشمس الذي يصل إلى النباتات من خلال غطاء البيت المحمي – العديد من استجابات النمو والمعدلات المرتبطة بدراسات غرف النمو[٦٧,٦٨]. ومع أن فعاليّات التشكل الضوئي لضوء الشمس حتى تحت ظروف إضاءة – خافتة في منتصف الشتاء تعتبر كافية لتنظيم العديد من استجابات النمو، إلا أن تزويد الإشعاع عند مستوى ٢٤ واط/ م٢ يعتبر أيضًا ضروريًا لرفع معدلات النمو وجعل البيئة وسطًا ملائمًا للنمو السريع والتزهير المبكر[٦٩,٧٢]. ونظرًا لأن معظم المحاصيل المستخدمة في البيوت المحمية تعتمد على الكم في استجاباتها لفترة الضوء، إلا أن الإضاءة المضافة قد تؤدي إلى تجميع استجابات النمو تحت مجموعة واحدة: التعجيل بالنمو والتزهير المبكر[٧٣]. ويقل معدل نمو النباتات في البيوت المحمية في حالة عدم إضافة الإضاءة الصناعية، كما تتأخر عملية التزهير، وذلك بالمقارنة بالنباتات التي تضاف إليها الإضاءة الصناعية. وتعتبر دورة فترة الإضاءة التزويدية وموقعها من خلال الأربع وعشرين ساعة حرجة للغاية. فالإضاءة المضافة لمدة ثماني ساعات خاصةً في النهار (٨٠٠ إلى ١٦٠٠) ليست بكفاءة الإضاءة في الليل من (٢٠٠٠ إلى ٢٤٠٠) ساعة.

جدول(٥ , ١٠). الطاقة الشمسية الساقطة على أجزاء مختلفة من الولايات المتحدة، واط/ م٢

	شمال-شرق	جنوب-شرق	وسط-غرب	شمال-غرب	جنوب-غرب
يناير	٣٦*	٦٠*	٦٠*	٤٥*	٨٢*
إبريل	١٠٥	١٤٢	١٣٥	١٤٢	١٨٠
يوليو	١٥٨	١٦٥	١٨٠	١٩٥	٢١٠
أكتوبر	٧٥	٩٨	٩٨	٨١	١٢٠

* تعتبر تلك القيم أقل من المعدل الطبيعي لنمو النباتات في بيت محمي ذو معامل نفاذية للإشعاع من ٥٠ إلى ٦٠ في المائة.

ولا يوجد في أي من الطريقتين السابقتين أفضل من الإضاءة لمدة ١٦ ساعة تبدأ من الصباح حتى منتصف الليل (٠٨٠٠ إلى ٢٤٠٠). ولا يوصى باستخدام الإضاءة المستمرة؛ نظرًا لحدوث تشحب لأوراق النبتة متبوعًا بفقد مفاجيء لكل الخضاب المرئي في الأوراق العلوية. ويمكن تخفيف حدة الشحوب اليخضوري بتزويد النباتات بأربع ساعات ظلام على الأقل كل يوم، مع زيادة أو خفض درجة الحرارة من ٢ إلى ٤ °م والمحافظة على رطوبة نسبية مرتفعة ورش أوراق النبتة بمحاليل عناصر غذائية.

وتحافظ الأشجار النَفْضيّة أو التي تطرح أوراقها سنويًا على النمو الخضري لعدة شهور عند استخدام إضاءة من مصابيح متوهّجة شدتها ٩ واط/ م٢، ولكن سوف تذهب الأشجار النفضية غالبًا في سُبات أو تعمل على تطوير ألوان شاذة للأوراق عندما تتعرض لإضاءة من مصابيح شديدة التوهّج. وتعتبر الإضاءة بالنسبة للنباتات قصيرة- النهار مثل فول الصويا والأقحوان والبونسيتة نسبيًا غير كافية؛ نظرًا لأنه يمكن الإضاءة فقط من خلال فترة يوم من ٨ إلى ١٢ ساعة والتي لابد وأن يتبعها فترة إظلام إلزامية من ١٢ إلى ١٦ ساعة[٧٥].

ويمكن أن تنمو النباتات على نحو مرضٍ في حجرات مكيفة إذا كان الإشعاع

على الأقل ٥٠ واط/ م٢. وبالرغم من أن هذا المستوى من الإضاءة يمثل حوالي ربع الإضاءة المسجلة في خارج الحجرات، إلا أنه يمكن استخدامه لتمثيل العديد من ظروف النمو[٦٦، ٧٦ إلى ٧٩]. ولا يمكن القول إنه توجد مصادر إضاءة قياسية يمكن استخدامها في غرف نمو النباتات[٨٠، ٨١]. وتستخدم مصابيح الفلوروسنت البيضاء المبردة لأكثر من ٣٠ عامًا[٨٢، ٨٣]. ويتم حديثًا إحلال مصابيح شديدة التفريغ بدلاً من المصابيح الفلوروسنت[٨٤، ٨٥]. وتتطلب الإضاءات الداخلية حاجزًا زجاجيًا أو أي مواد ذات نفاذية توضع بين المصابيح ومنطقة التربية. ويفضل وجود نظام تهوية منفصل في عليّة المصابيح للتخلص من الحرارة التي قد تتزايد في الحيّز المغلق. وقد لاتستطيع الحواجز أو سريان الهواء التخلص نهائيًا من الإشعاع الحراري، وذلك نتيجة لاختلافات تصنيع غرف الإنبات وصعوبة الوصول إلى المواصفات القياسية. ويعتبر العجز في الحصول على مواصفات قياسية لغرف الإنبات السبب الأساسي في تشوّش المعلومات عن نمو النباتات والتزهير في منشآت تحكم بيئي، وذلك بالمقارنة بما ينمو في داخل وخارج البيوت المحمية.

ويعتبر استخدام مصدر إضاءة مفرد في الغالب غير كاف لغرف نمو النباتات، وعادةً ماتضاف مصابيح متوهّجة[١٣، ١٤٦، ١٤٧]. وقد وجد (Cathey et al.)[145] على سبيل المثال، أن معظم النباتات تنمو بنجاح عندما تكون شدة الإشعاع ٥٠ واط/ م٢، وأنه قد تم الحصول على ١٠ إلى ٢٠٪ من هذه الطاقة باستخدام مصابيح متوهجة. وقد أصبح من الصعب استخدام غرف نمو النباتات التي تتيح إشعاع أكبر من ٥٠ واط/ م٢ في تتبع الشكل الطبيعي لنمو النباتات. و يرجع السبب في ذلك إلى العديد من المفاهيم البيئية غير المتحكم فيها، والتي أصبحت أكثر تعقيداً مما يصعب على قدرتنا تقييم تلك التطورات[٨٩، ٩٠].

تركيب الهواء (Air Composition)

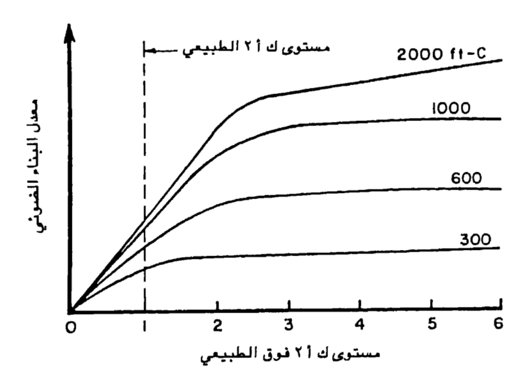
يتركب الهواء في وضعه الطبيعي من نسب متغيّرة من غازات عديدة. وقد تزداد نسب بعض تلك الغازات في المناطق الصناعية والمدن المزدحمة بالسكان عن بعض مناطق أخرى كالريف مثلاً. وقد تكون بعض تراكيز تلك الغازات سامة لنمو النبات. وبالرغم من أن غاز مثل ثاني أكسيد الكربون (ك أ٢) لايمثل تركيزه أكثر من

٠,٠٣ إلى ٠,٠٣٥٪، إلا أنه يعتبر ضروريًا للغاية لنمو النبات. فيدخل غاز ثاني أكسيد الكربون في خلايا النبات من خلال ثغيرات الأوراق مع عملية البناء الضوئي، ثم يتحول إلى كربوهيدرات تستخدم فيما بعد كطاقة وكمصدر للمادة الرئيسية لنمو خلايا النبات.

و يتأثر معدل البناء الضوئي - كما يتوقع - بمستوى (ك أ ٢) في الوسط المحيط بالنبات. ويمكن ملاحظة انخفاض في النمو إذا حدث انخفاض في مستوى (ك أ ٢) إلى أقل من المستويات الطبيعية داخل الغرف المغلقة. وبالعكس، عادة مايتولد عن زيادة مستويات (ك أ٢) زيادة في معدل البناء الضوئي. ويعتمد تركيز (ك أ ٢) الذي يحقق أقصى نمو على كل من المرحلة التي ينمو فيها النبات ومساحة الأوراق وشدة الإضاءة ودرجة الحرارة وسرعة الهواء المار عند ثغيّرات الورقة.

وتعتبر العلاقة بين تركيز (ك أ ٢) والضوء من أكثر العلاقات ارتباطًا ومعروفة منذ سنوات عديدة، الشكل رقم (١٣ , ١٠). فزيادة مستويات الإضاءة لابد وأن يتبعه زيادة في تركيز (ك أ ٢) إذا كان الهدف المحافظة على عملية البناء الضوئي. وقد اتضح منذ بداية الخمسينات أن زيادة (ك أ ٢) في البيوت المحمية المحكمة الغلق قد يتبعه من الناحية العملية زيادة الإنتاجية[٩١]. وقد أوضحت تلك الدراسة وغيرها من الدراسات أنه يمكن في الحقيقة خفض مستويات (ك أ ٢) إلى أقل من ٢٠٠ جزء في المليون في البيوت المحمية المحكمة الغلق إذا كانت مستويات الإضاءة كافية[٩١, ٩٢]. وقد تصبح عملية البناء الضوئي عند حدوث ذلك محدودة بدورها.

وتتم عملية البناء الضوئي عند أقصاها بالنسبة للعديد من النباتات عند مستويات طبيعية من غاز (ك أ ٢) وعند حوالي ٢٠ كيلو لاكس من الضوء. ويجب عند زيادة تركيز (ك أ ٢) زيادة مستوى الإضاءة المطلوب للتشبع أيضًا. وقد اتضح من إحدى الدراسات على الورود حدوث أقصى بناء ضوئي عند ٣٤ كيلو لاكس وتركيز من غاز (ك أ ٢) ٥٠٠ جزء في المليون، بينما حدث أقصى بناء ضوئي عندما كانت نسبة تركيز (ك أ ٢) ١٠٠٠ جزء في المليون وشدة إضاءة أعلى من ٤٠ كيلو لاكس[٩٣, ٩٤]. وقد أوضحت تلك النتائج أنه بالنسبة للمناطق ذات مستويات إضاءة مرتفعة، فإنه يمكن الحصول على أقصى منفعة من الضوء المتاح عن طريق تغذية ثاني أكسيد الكربون.



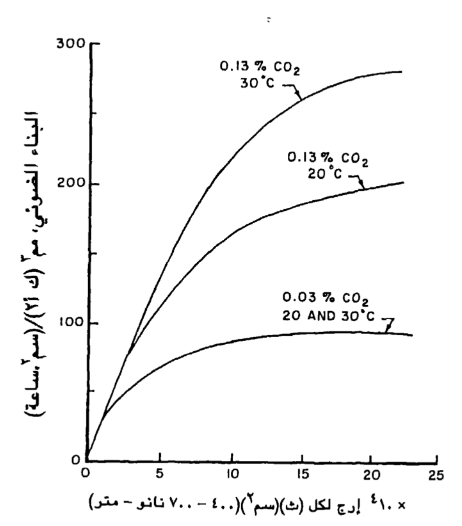
شكل(١٣ , ١٠). العلاقة بين تركيز ك أ ٢ وشدة الضوء على عملية البناء الضوئي للقمح

ويكون عكس ذلك أيضًا صحيحًا، بمعنى أنه يمكن عامةً الحصول على زيادة في البناء الضوئي مع تغذية (ك أ ٢) عند كل مستويات الإضاءة، وأن معدل الزيادة يتناقص عندما يصبح الضوء محدودًا. ويمكن توضيح ذلك كما في الشكل رقم (١٣ , ١٠). فنجد – عند انخفاض مستوى الإضاءة– انخفاض معدل استجابة البناء الضوئي مع زيادة تركيز (ك أ ٢). ونتيجة لذلك، فقد أجريت دراسات على تغذية عدد من البيوت المحمية بغاز (ك أ ٢) في مناطق تبعد كثيرًا شمال خط الاستواء حيث ضوء الشمس يكون نسبيًا منخفضًا. وقد أوضحت تلك النتائج عدم الحصول على نفس المنافع التي تحصّل عليها من تغذية (ك أ ٢) بالنسبة للمناطق ذات ظروف إضاءة مفضلة. وقد أوضحت النتائج أن تزويد الإضاءة مجتمعةً مع تغذية (ك أ٢) في المناطق الشمالية قد أدت إلى تحسن الإنتاجية عن التحسن الكلي الذي حدث عندما استخدمت هذه التعديلات كل على حدة في البيت المحمي[٩١].

وتوجد أيضًا درجة حرارة الجو بالإضافة إلى تراكيز ك أ ٢ وشدة الإضاءة، والتي ثبت أن لها تأثيرًا مباشرًا على معدل البناء الضوئي. فيتضاعف معدل البناء الضوئي تحت ظروف محددة ومدى من درجات الحرارة ينصح باستخدامه مع كل زيادة في درجة الحرارة ١٠ °م [٩١]. ويعتبر التفاعل بين درجة حرارة اليوم وتركيز (ك أ ٢) في الجو- الشكل رقم (١٤ , ١٠)- إيجابيًا مع استجابة متزايدة لتغذية (ك أ ٢) عن زيادة درجة الحرارة[٩٥] .

ولم تظهر العلاقة المتبادلة بوضوح في المنشآت الإنتاجية حيث تتذبذب درجات الحرارة[٩١,٩٦] . وسوف يؤدي ارتفاع درجة الحرارة- بالإضافة إلى التأثير على عملية البناء الضوئي- أيضًا إلى زيادة النتح. فإذا كانت عملية البناء الضوئي محدودة لعدم كفاية الإضاءة أو أي عامل آخر، فسوف ينتج عن زيادة معدل النتح فقد للكربوهيدرات واحتمال انخفاض جودة الإنتاج.

وقد تظهر مشكلة أخرى تضاف إلى مشاكل الإنتاجية وهي تراكم الحرارة في البيت المحمي عندما تزداد شدة الإضاءة الطبيعية. وقد تصبح تلك الحرارة أيضًا كبيرة بحيث كثيرًا ما تتطلب الحاجة إلى التهوية. وقد تصبح تراكيز (ك أ ٢) بسرعة غير عملية عند استخدام التهوية حتى ولو بمعدلات منخفضة. وتعتبر النقطة التي تصبح عندها التهوية ضرورية دالة في الإشعاع الشمسي الداخل إلى البيت المحمي ودرجة الحرارة الخارجية ونوع المحصول الذي ينمو ومعدل البخر-نتح ودرجة الحرارة الداخلية التي تبدأ عندها التهوية. وعلى ذلك يمكن خفض الحرارة المتراكمة باستخدام أغطية تظليل فوق غطاء البيت المحمي. وقد يكون ذلك غير مرغوب في الشتاء عندما يكون الضوء غالبًا العامل المحدد للنمو. وتعتبر درجة حرارة التهوية الداخلية العامل الأساسي الذي يمكن أن يتأثر. وفي الغالب ما تكون الزيادة في معدل البناء الضوئي- عند التغذية بغاز (ك أ ٢) وعند توافر أشعة شمسية كافية- أكبر جذريًا من فقد الكربوهيدرات نتيجة زيادة النتح. ويمكن رفع درجة الحرارة الداخلية عند هذه الظروف عن طريق تأخير بداية عملية التهوية. فعلى سبيل المثال، أوضحت دراسة أجريت في ولاية كولورادو في عام ١٩٧٢ أنه يمكن تشغيل بيت محمي كنظام مغلق تمامًا لمدة الثلاثة شهور الشتوية الباردة إذا سمح لدرجة الحرارة الداخلية بالارتفاع إلى ٣٠ °م[٩١] .



شكل (١٤ ، ١٠). البناء الضوئي لورقة خيار عند كل من التراكيز المنخفضة والمتشبّعة تحت ظروف إضاءة متوهجة[٩٣].

وتعتبر عملية تكييف النبات أيضًا من العوامل المهمة وخاصةً بالنسبة للنباتات التي إذا تعرضت لمعدلات إضاءة منخفضة الشدة سوف تُظهر معدل امتصاص منخفضًا من (ك أ ٢)، وذلك بالمقارنة بالنباتات التي لم يحدث لها عملية تكييف عند مستويات إضاءة مرتفعة. ويوجد بالإضافة إلى العوامل البيئية السالفة الذكر تأثيرات راجعة أيضًا إلى أنواع وأصناف النباتات.

وكما تم توضيحه سابقًا، لا تعني زيادة تركيز (ك أ ٢) دائمًا زيادة في الإنتاج والجودة. فيمكن أن يزداد الإنتاج وتنخفض الجودة، ويمكن أن ينخفض الاثنان معًا.

ويعتبر توقيت نضج المحصول أيضًا معقد عند تطبيق التغذية بثاني أكسيد الكربون؛ نظرًا لتعقيدات اتخاذ التدابير الإدارية المناسبة والخاصة بتوجيه العامل إلى العمليات المطلوب تنفيذها.

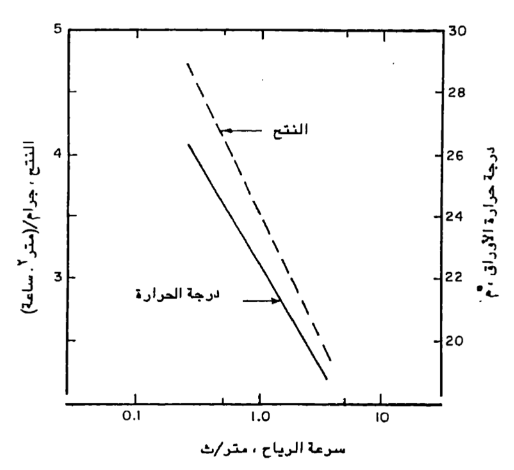
الملوِّثات (Pollutants)

تعتبر النباتات حساسة للملوثات مثل الإيثيلين والأوزون والأكاسيد الأخرى التي تتولد في الجو. ويسبب التلوُّث ظهور بقع صغيرة على أوراق النباتات، كما تتلوّن معظم الأوراق باللون الأصفر في حالة الإصابات الشديدة. ويحدث التأثير في كل من الجو الخارجي وداخل البيوت المحمية. ويمكن خفض الملوثات في الداخل باستخدام مرشحات فحم نباتي منشَّط في نظام التهوية، ولكن نادرًا ما يستخدم ذلك في البيوت المحمية التجارية.

وغالبًا ما يتولد غاز الإيثيلين مع غازات العادم الناتجة من تجهيزات الاحتراق الغازية والبترولية. وتعتبر النباتات حساسة للغاية بالنسبة لغاز الإيثيلين مع ظهور الإصابات حتى عند تراكيز أقل من واحد جزء في المليون[٩٧]. وعلى ذلك، فإنه يوصى عامةً بالتخلص بواسطة التهوية من كل نواتج احتراق تجهيزات التدفئة في البيوت المحمية. ويتولد الإيثيلين أيضًا بواسطة النباتات وآلات الاحتراق الداخلي ومن احتراق الفحم. وقد ينتج عن تغطية وإحكام البيوت المحمية لتوفير الطاقة زيادة في تراكيز الإيثيلين والملوثات الأخرى المتولدة في حيِّز النمو؛ نظرًا لانخفاض معدل تسرب الهواء من البيت المحمي.

حركة الهواء (Air Movement)

تعتبر سرعة الهواء متغيِّرًا يتضمن كمية واتجاهًا. وعادةً ما يشار للسرعة في الزراعات المحمية بالكمية دون الاتجاه. وتؤثر حركة الهواء في العديد من العوامل التي تؤثر على نمو النبات مثل النتح، الشكل رقم (١٥ , ١٠)، والبخر والكميات المتاحة من ثاني أكسيد الكربون لعملية البناء الضوئي[٥،٩٨،٩٩]. وتتأثر درجة حرارة الورقة أيضًا بطريق مباشر بسرعة الرياح وبطريق غير مباشر بالبخر كنتيجة من



شكل (١٥,١٠). العلاقة بين سرعة الرياح ودرجة حرارة ورقة النبات والنتح عند درجة حرارة للهواء ١٥ °م ورطوبة نسبية ٩٥٪.

الرياح[٥,١٠٠,١٠١].

وقد لخص (Grace)[99] حديثًا مدى استجابة الأوراق الفردية والنباتات ككل للرياح، كما وصف طرق القياس والتحكم في سريان الهواء. ويصف هذا الكتاب أيضًا صعوبات الحصول على قياسات ذات معنى لحركة الهواء وتغيّر سرعته تحت ظروف تجريبية. وقد ذكر (Krizek)[102] العديد من المراجع التي درست تأثيرات حركة الهواء على النباتات، كما تضمنت أنواع القياسات الأساسية والمستخدمة لسريان الهواء.

وتعتبر سرعة هواء من ٥ ,٠ – ٧ ,٠ (م/ ث) سرعة مثلى لنمو النباتات تحت ظروف مهيئة؛ لكن اقترح بعض البحاث سرعات مرتفعة حتى ٥ ,١ (م/ ث) بدون وجود أي تأثيرات ضارة[٩٩,١٠٢]. عامةً، تسهّل سرعات للهواء من ١ ,٠ – ٢٥ ,٠ (م/ ث) والمارة متعامدة على سطح النبات من عملية امتصاص ثاني أكسيد الكربون. وينخفض معدل امتصاص (ك أ ٢) عند سرعة للهواء ٥ ,٠ (م/ ث). ويُكبت معدل النمو عند زيادة سرعات الهواء ٠ ,١ (م/ ث) أو أعلى، بينما يحدث تلف في بناء النباتات عند سرعات أعلى من ٥ ,٤ (م/ ث).

وتختلف الأصناف جوهريًا بالنسبة لاستجابة البناء الضوئي للرياح [٩٩,١٠٣]. وقد أوضحت دراسة متضمنة عدة أصناف خشبية– عند سرعات للرياح في المدى من صفر إلى ٢٠ (م/ ث) وعند نسب إشعاعات مرتفعة– أن معدلي النتح والبناء الضوئي يتناقصان معًا بزيادة سرعة الرياح، مع أنه ليست هذه في الغالب هي الحالة. وقد ارتفع معدل النتح بالنسبة للصنف *(Alnus viridis)* بينما تناقص معدل البناء الضوئي؛ والعكس كان أيضًا صحيحًا بالنسبة لـ *(Pinus cembra)*. ومن الناحية الأخرى، أوضحت التجارب على النباتات الوردية (أو الرّودود ندرون) انخفاض كل من معدل النتح والبناء الضوئي ولكن ليست في حالات متوازية؛ فقد انخفض معدل البناء الضوئي إلى الصفر عند سرعة ١٥ (م/ ث) بينما كان النتح لايزال مرتفعًا نسبيًا.

وقد تحدث إعاقة لسريان الهواء فوق ورقة نبات – أو سطح آخر– بسبب الاحتكاك. ونتيجة لذلك، يتطور شكل سرعة الهواء بحيث إن السرعة عند السطح تصبح صفراً. وتسمى المنطقة التي تنخفض عندها السرعة بالطبقة الحدية (boundary layer). وتحدد طبيعة وسمك الطبقة الحدية معدل الانتشار الحراري وبخار الماء وتركيز ثاني أكسيد الكربون بين أنسجة الورقة والهواء المحيط[٩٩]. ويعتمد سمك الطبقة الحدية على سرعة الرياح وشكل وحجم الورقة. وتكون القيمة الدقيقة لسمك الطبقة حوالي ١ م عند سرعة ظاهرية للرياح ٠ ,١ (م/ ث)[١٠٤]. وتنخفض مقاومة الطبقة الحدية لحركة الهواء عبر سطح الورقة مع زيادة سرعة الهواء، وهكذا يزداد البخر وانتقال الحرارة وحركة ثاني أكسيد الكربون في الورقة. وتصبح مقاومة

الطبقة الحدية مهملة عند سرعات للهواء أعلى من٠,٨٩ (م/ ث)[١٠٢] .

وتوصي التطبيقات العملية والهندسية (Heating and Ventilating Greenhouses) والمنشورة بواسطة (ASAE, 1981) أن لاتزيد سرعة الهواء عبر النباتات في البيت المحمي عن ٠,١ (م/ ث). وقد يؤثر هواء التهوية أيضًا بطريقة غير مباشرة- بالإضافة إلى التأثير على الانتشار- على فيسيولوچيا وتشتيت الحشرات والميكروبات المُرضة، والتي قد تقطن على سطح الورقة[٩٩] .

وتوضح الأبحاث الحديثة أن النباتات قد تكون حساسة للغاية لعملية الهز أو للذبذبات الميكانيكية[٩] . فقد وجد بناءً على ورقة بحثية حديثة أن هز نبات الطماطم بمعدل ١٠ هزات/ يوم قد أدت إلى تقليل النمو بنسبة ٦٠٪ عن النبات غير المهزوز[٣٥] . ويمكن تطبيق الإجهادات الميكانيكية بعدة طرق متضمنة الهز اليدوي أو الاحتكاك أو الرش باستخدام ماء أو بدفع رياح. وتسبب تلك النتائج خسائر كبيرة لمربي النباتات في البيوت المحمية، خاصةً تلك التي تستخدم تهوية في المنشآت.

بيئة الجذور

(THE ROOT ENVIRONMENT)

الوسط الجذري (Rooting Media)

يجب أن تسمح المادة التي ينمو فيها النبات بحرية حصول الجذور على كمية ملائمة من الماء والغذاء والأكسجين. ويجب نتيجة لذلك أن تكون المادة جيدة الصرف، ولكن مع المحافظة على رطوبة كافية لتجنب الإجهاد المائي. وترتبط خاصية الاحتفاظ بالماء والتهوية بمسامية المادة المحيطة بالجذر. ولكن يمكن أن تصبح علاقات حجم-هواء مضللة؛ نظرًا لأن تلك العلاقات لاتوضح حجم المسامات في المادة. فسوف يحدث صرف سريع للماء إذا كانت مسامات المادة كبيرة الحجم مع سعة احتفاظ بالماء أقل عن المادة التي لها نفس المسامية الكلية، ولكن تحتوي على مسامات صغيرة الحجم. فعلى سبيل المثال، يحتوي لحاء الخشب الأحمر وقصب الأسنغنوم (نوع من الطحالب) على نفس المسامية الكلية، ولكن نجد بالمقارنة

بالقصب أن الحيّز الهوائي في اللحاء بعد الصرف يصل إلى الضعف، بينما سعة الاحتفاظ بالماء تنخفض إلى النصف. وكتوصية عامة، ينبغي على المادة المحيطة بالجذور أن تحتوي على أكثر من ١٠٪ من حجمها فراغات، وذلك عند سعتها الحقلية[١٥].

وتستخدم الأرض الطبيعية المتاحة على مدى السنين كوسط تقليدي لنمو نباتات البيوت المحمية. ولكن في بعض الأحيان تتغيّر الأراضي في تركيبها وتكلفتها مع صعوبة الحصول عليها. وتعتبر عملية خلط طبقات التربة بالمواد العضوية مثل روث البهائم وأوراق الأشجار ونُجارة الخشب من العوامل التي تساعد على تحسن المسامية مع الاحتفاظ بالرطوبة. ولكن عادةً ما يكون العديد من مواد الخلط كالسماد البلدي وأوراق الأشجار غير متوافرة للباحث أو المربي. ونتيجة لذلك، فقد أصبح من الشائع جدًا وجود مخلوطات تربة مركبة. ومن الأنواع الأكثر شيوعًا واستخدامًا مخلوطات حفور الخث أو مخلوطات القرانيا[١٠٦]. وتتضمن المواد الأخرى الشائعة الاستخدام كمواد صناعية والتي يمكن إضافتها إلى التربة كمحسنات كلاً من البرليت والزجاج البركاني والرمل والزلط ولحاء ممزقًا أو مخلوطًا من هذه المواد.

وقد وجد أن النباتات تنمو بازدهار أو أفضل في التربة الصناعية كما تنمو في التربة الطبيعية[٢، ١٠٧، ١٠٨]. ولا يمكن في نفس الوقت افتراض الحصول على نتائج متساوية خاصة بالنمو في كل الأوساط التي يتم توليفها.

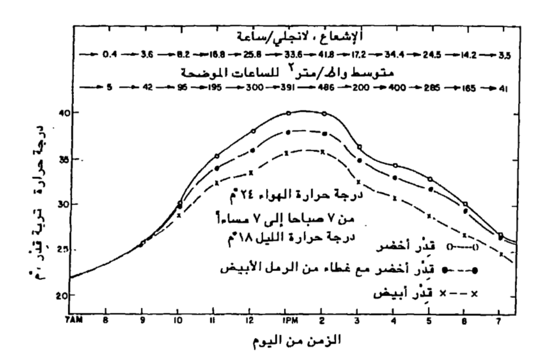
ويجب في حالة استخدام مواد صناعية كليًا إضافة محلول مغذ على فترات، حيث تنخفض مستويات التغذية للغاية في العديد من هذه المواد. وتتطلب عملية الاستنبات في أوساط دون التربة، والتي يطلق عليها في بعض الأحيان بالزراعة المائية، شخصًا ذا خبرة ومدربًا ولديه الخلفية العلمية في كل من فيسيولوچيا النبات وأمراض النبات والكيمياء. وقد تمت دراسة الخصائص الطبيعية للعديد من المواد الصناعية بالتفصيل، ولكن لم تتوافر في حالات كثيرة المعلومات التي تصف الكفاءة البيولوجية النسبية لتلك المواد[١٠٧، ١٠٩، ١١٠].

ويسمح إنتاج المواد الصناعية بالوصول إلى الوسط القياسي للنمو، كما يساعد على توفير الظروف الضرورية للوصول إلى المستويات القياسية والري الآلي والبرامج التغذوية. وتوجد مميزات كثيرة للغاية بالنسبة لاستخدام المواد الصناعية لدرجة أن مجموعة النباتات التي تنمو بمعدل ثابت في الأوعية أصبحت تنمو بمعدل مطرد.

درجة حرارة الوسط المحيط بالجذور (Rooting Media Temperature)

تعتبر درجات حرارة المواد داخل الأوعية عادة مرادفة لدرجات حرارة الجذور، وفي الغالب ما تعتبر مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بدرجات حرارة الهواء. ويعتبر ذلك حقيقة في البيوت المحمية ذات نسبة إظلال مرتفعة، وخاصةً إذا كان النبات كبير الحجم بقدر كاف لإظلال منطقة سطح التربة فوق الجذور. ويتولد الارتفاع في درجة حرارة الوسط الجذري عن درجة حرارة الهواء أساسًا من امتصاص الطاقة الإشعاعية. أما في البيوت المحمية غير المغطاة، فإنه من الواضح أن الموقف يختلف تمامًا.

وتكون درجة حرارة مادة التربة في قدْر دائمًا تقريبًا أعلى مما لو كانت في طبقة تربة، كما سوف تتغيّر مع لون وتركيب وفُسحة القدْر[١١١]. وعامةً تكون درجة حرارة المادة منخفضة في القدر الطينية عن البلاستيكية نتيجة للتبخير من حوائط القدر المسامية[٣٣]. وقد نشر في بحث أن بعض النباتات مثل الفَتيّة والبطُونية، تنمو بمعدل أفضل في قدور بلاستيكية عن القدور الطينية عند رطوبات نسبية منخفضة للهواء (٤٠ ٪)، ولكن ليست عند رطوبات نسبية مرتفعة (٦٥ إلى ٨٠ ٪)[٣٨]؛ ومن الأرجح أن يكون سبب ذلك راجعًا أكثر إلى انخفاض الماء المتاح في القدرة الطينية عن انخفاض درجة حرارة التربة. ولكن، يمكن أن تكون درجات حرارة الجذور في القدر البلاستيكية أفضل من المثلى عند درجات حرارة للهواء مرتفعة للغاية. وعلاوةً على ذلك، يمكن أن تكون المادة التي في قدور بلاستيكية بيضاء عند درجة حرارة أقل مما لو كانت في قدور خضراء أو سوداء، وذلك لارتفاع معامل انعكاس حائط القدر الأبيض، الشكل رقم (١٦ , ١٠). ولكن، يجب ملاحظة أن القدور البيضاء تسمح



شكل (١٦, ١٠). تأثير استخدام قدور بلاستيكية على درجة حرارة التربة في غرفة نمو للنباتات عند درجة حرارة نهار وليل ٢٤ و١٨ °م على الترتيب.

باختراق أشعة مرئية كافية تعمل على كبت نمو جذور أصناف محددة، كما تساعد في نمو الطحالب عند السطح المشترك بين المادة وسطح القدر(١٢٢).

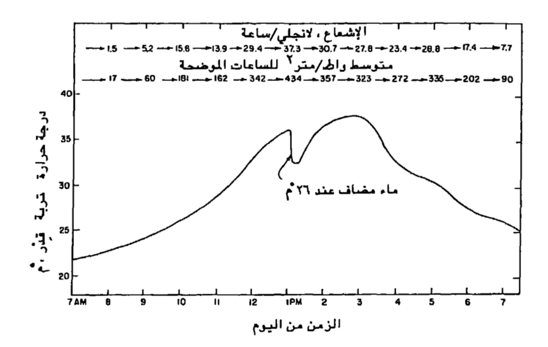
وتعتبر الطاقة الإشعاعية العامل الأول المسؤول عن ارتفاع درجة الحرارة في المادة إلى أعلى من درجة حرارة الجو. وعلى ذلك نجد أن المادة السوداء لها درجة حرارة أعلى من المادة فاتحة اللون. ويمكن خفض درجة حرارة المادة السوداء بوضع

طبقة سطحية من الرمل الأبيض أو البرليت (الزجاج البركاني)، الشكل رقم (١٦ , ١٠). وعلاوةً على ذلك، نجد أن درجة حرارة المادة المحيطة بالجذور تزداد انخفاضًا بنمو النباتات؛ نظرًا لأن حجم النباتات يصل إلى الحد الذي يظلل على سطح المادة المحيطة بالجذور. وسوف ينتج أيضًا عن الكتلة الحرارية في المادة المحيطة بالجذر تغيّر في درجة حرارة الجذر بمعدل أقل بكثير من الهواء عندما تتبادل درجات حرارة نهار/ ليل لإشباع متطلبات الدورية الحرارية.

ومن النادر ما يؤخذ تأثير درجة حرارة كل من الماء والمحلول الغذائي في الاعتبار، مع أن ذلك قد يؤثر ويغيّر من درجة حرارة الجذور. فنجد في معظم الحالات أن درجة حرارة الجذر تتناقص عند كل إضافة للماء، الشكل رقم (١٧ , ١٠). ويتوقف هذا الانخفاض على درجة حرارة الماء. ويعتمد الوقت اللازم بعد إضافة الماء والمطلوب لعودة درجة الحرارة إلى مستواها قبل الإضافة على كمية الطاقة الإشعاعية ونوع المادة المحيطة بالجذور ودرجة حرارة الجو وبالطبع درجة حرارة الماء المضاف. وقد يُكبت نمو بعض الأصناف الاستوائية عند درجات حرارة للماء أقل من ١٠ ْم، ويعتبر ذلك شائع الحدوث في الشتاء في العديد من البيوت المحمية. وقد تسبب إضافة ماء بارد للتربة أيضًا جهداً مماثلاً للجهد الناشيء عن قلة الماء والذي مؤداه تعفن الطماطم[١١٣].

ويمكن في التطبيقات البحثية التحكم في درجة حرارة الجذور باستخدام نظام زراعة في ماء أُذيبت فيه بعض المواد المُغذية. ويمكن- عند الرغبة في الحصول على درجة حرارة للجذر في حدود ٥ ْم من درجة حرارة الهواء- وضع الوعاء في حمّام مائي يمكن التحكم في درجة حرارته[١١٤]. ويمكن بالنسبة للمناطق الأرضية أو مخلوط التربة في مساكب استخدام الكابلات الحرارية. ولا توجد طرق عملية يمكن استخدامها للتحكم في درجة حرارة المادة في أوعية نمو النباتات باستثناء تنظيم درجة حرارة الماء والمحاليل الغذائية.

ومع أن من النادر قياس درجات حرارة المادة المحيطة بالجذر، إلا أنه من المعروف أن درجة الحرارة لها تأثير واضح على إنبات البذور وما يتبعه من نمو. وتوجد درجة حرارة مثلى للإنبات لكل صنف من النباتات. وتتأثر درجة الحرارة



شكل (١٧ , ١٠). تأثير إضافة ماء عند درجة حرارة نهار وليل٢٤ و١٨ ْم على الترتيب.

المثلى بعمر البذرة وظروف التخزين ويحتمل أيضًا ببيئة النبات الأم وقت نضوج البذور[١١٥]. ويتطلب العديد من أنواع البذور فترة إنبات أولى عند درجة حرارة أقل من المثلى لكسر فترة السُبات أو للإسراع بعملية النضج. وقد تتطلب بعض الأصناف حوالي ٣٠٠ يوم عند درجة حرارة ٤ ْم قبل بدء الإنبات عند درجة الحرارة المثلى. وتتغير متطلبات درجات الحرارة المنخفضة تغيّرًا جذريًا بين الأصناف .

ويوجد العديد من البذور التي لها مدى من درجات الحرارة الحرجة للإنبات، وقد تفشل عملية الإنبات عند درجة حرارة خارج هذا المدى. فعلى سبيل المثال، نجد أن لدى بذور *(Puya berteroniana)* نسب إنبات منخفضةً للغاية عند درجة حرارة أعلى

من ٢٠ °م، بينما تكون لدى بذور (*Aechmea coelestis*) نسبة إنبات منخفضة عند درجة حرارة أقل من ٢٠ °م، ولكن لديها نسبة إنبات جيدة عند درجات حرارة مرتفعة في حدود ٣٠ ° م. وتفشل بذور (*Vriesia scalaris*) في الإنبات عند درجات حرارة أقل من ٢٠ ° م أو أعلى من ٢٥ ° م[١١٦].

وتوجد لدى بعض أنواع البذور نسب إنبات أفضل عند استخدام درجة حرارة متناوبة بدلاً من استخدام درجة حرارة ثابتة[١١٥, ١١٧]، وهي حقيقة معلومة منذ عام ١٨٨٤ م، ولكن لا يوجد لها تفسير مقنع. وعادةً ما يحدث التناوب باستخدام دورة يومية تبدأ من ثماني ساعات عند درجة حرارة مرتفعة ثم ١٦ ساعة عند درجة حرارة منخفضة. وتعتبر الدورة ٨/ ١٦ ساعة مريحة في نقل البذور من درجة حرارة إلى أخرى، ولكن تعتمد فترة الدورة في الحقيقة على تغيّرات نهار/ ليل بالنسبة لدرجات حرارة سطح التربة في منطقة التلطيف. ويوجد لدى درجات الحرارة المناوبة كفاءة مرتفعة للغاية في تعزيز عملية الإنبات[١١٨]. ويعتبر نظام التناوب عند ٣٠/ ٢٠ °م قريبًا من النظام الأمثل لأصناف البذور من ذات مناطق تلطيف متعددة[٢٤]. ومع أن بعض البذور تتطلب دورات من درجات الحرارة لتشجيع الإنبات، إلا أنه توجد بعض البذور الأخرى التي تحتاج فقط إلى دورتين يتبعهما درجات حرارة مرتفعة باستمرار أثناء فترة الإنبات.

وقد تختلف متطلبات درجات الحرارة في عملية نمو البذور عن عملية الإنبات. ففي بعض الحالات، مثل (*Paeonia suffructosa*)، نجد أن الفوفلقي (أو الجزء من محور جنين النبات الواقع فوق الفلقة) يظل ساكنًا ويتطلب فترة باردة قبل بدء النمو. أيضًا تنبت بلوطات بعض أصناف خشب البلوط وينمو الجذر الرئيسي الوتدي في الخريف، ولكن لا يتم النمو الكلي للنبات حتى قدوم الربيع. ونجد أيضًا ظهور نتوءات جذور (*Convallaria majolis*) عند درجة حرارة دافئة ٢٥ °م، ولكن نجد أن التعرض لدرجة حرارة منخفضة متبوعة بدرجة حرارة نمو مثلى يعزز من نمو قمة الجذر.

وتتعامل معظم التقارير الخاصة بتأثيرات درجة الحرارة على نمو النبات مع درجة حرارة الهواء ونمو الجذر الهوائي من النبات، ولكن يعتبر ما يقال عن تأثيرات

درجة حرارة الجذر قليلاً. ومع ذلك نجد أن لدى درجات حرارة الجذور تأثيراً عميقاً على نمو البراعم أو الأفرع الجديدة. وتبدو درجة حرارة للجذر من ٣٠ إلى ٣٥ °م مثلى لبداية التوريق في أوراق التبغ ولتراكم المادة الحيوية في الذرة[١٢٠]. وقد يكون لدى درجة حرارة الجذر المنخفضة تأثير أكبر على نقل المركب الضوئي من الأوراق عن درجة حرارة الهواء. وفي الحقيقة نجد أن جزءاً كبيراً من المركب الضوئي يتجه صوب الجذر بدلاً من المساعدة على انبثاق تفريعات جديدة طالما أن درجة حرارة المادة المحيطة بالجذر أقل أو أعلى من درجة حرارة الجذر المثلى.

وتعتمد النتائج والبيانات الخاصة بدرجات الحرارة المثلى للجذور أيضاً على طرق القياس وعمر النبات والماء المتاح والغذاء مثلهما مثل بيانات درجة الحرارة المثلى للهواء. فتكون درجة الحرارة المثلى لجذر البونسيتة (نبات مكسيكي) ٢٦ °م، وهي قريبة من درجة الحرارة المثلى للعديد من نباتات المناطق الاستوائية والمعتدلة المتضمنة بعض أصناف الأشجار[١٢٢]. وتعتبر ١٣ °م أقل درجة حرارة لنمو جذر البونسيتة، بينما كانت أقصى درجة حرارة ٢٦ °م. ويبدأ معدل نمو الجذر في الانخفاض عند ٣٠ °م. وقد وجدت نتائج مماثلة مع الخيار، مع ملاحظة أن أقل درجة حرارة لنمو الجذر كانت ١٦ °م. وعادةً ماتكون درجة حرارة المادة المحيطة بالجذر والمولدة لأعظم نمو جذري أقل من درجة حرارة الجذر الذي ينتج معظم النمو الفوقي. وبالطبع يوجد العديد من الاستثناءات بالنسبة لدرجة حرارة الجذور المثلى. فعلى سبيل المثال، نجد أن أفضل درجة حرارة مدونة لنمو جذور التفاح والكمثرى تقع عند ١٨ °م، بينما تطعيم الطنجال (وهو شجر أو ثمر مهجن من المندرين أو اليوسفي ومن الليمون الهندي أو الجريب فروت) إلى ساق جذر البرتقال الحامض ينتج أعظم وزن للجذر عند درجة حرارة ٣٢ °م[١٢٤].

وكقاعدة عامة، نجد أنه كلما كبر الوعاء، كلما كبر النبات. وقد نشر في بحث أن زيادة حجم الوعاء أربعة أضعاف يزيد وزن ظلة نبات *(Ficus retusa and Dodonaea Viscosa)* أربعة أضعاف[١٢٥]. ويجب أن يكون شكل الوعاء متمشيًا مع نوع النظام الجذري. فعلى سبيل المثال، نجد أن نبات *(Dodonaea)* ينمو بمعدل أفضل في وعاء ضيّق عميق عن ما يكون الوعاء واسعًا

وغير عميق أو منتظم الشكل عرضه يساوي عمقه. أما بالنسبة لنبات *(Ficus)* الذي لديه نظام جذري مختلف، فنجد أن معدل نموه يكون أفضل في الأوعية المنتظمة أو القليلة العمق عن النمو في الأوعية العميقة[١٢٦].

مصادر الماء والغذاء (Water and Nutrient Supply)

يعتبر الماء المصدر الرئيسي للنباتات الخضراء حيث يمثل من ٧٠ إلى ٩٠٪ من الوزن الناضر لمعظم الأصناف العشبية. ويوجد معظم هذا الماء في محتويات الخلايا (٨٥ إلى ٩٠٪ ماء) حيث يلعب دوراً حيويًا كوسط سائل بالنسبة للعديد من تفاعلات الكيمياء الحيوية.

ونظرا للتأثيرات العميقة لإجهاد الماء على النمو الخضري وتطورات الإنبات، فإن مجهوداً يوخذ في الاعتبار قد بذل لفهم ميكانيكية المقاومة وتجنب الجفاف[١٢٧ إلى ١٣٠] وانحباس الماء[١٣١]. ودائمًا ما يغفل أهمية الإجهاد المائي كعامل محدد في مستنبتات البيت المحمي؛ نظراً لإمكانية حدوث كل من الجفاف وعدم وصول الماء بدون ظهور أي علامات مرئية من الذبول.

وتعتمد كمية المياه الواجب إضافتها إلى وعاء نمو النبات على حجم النبات وحجم الوعاء ومسامية وسعة إبقاء المادة المحيطة بالجذر للماء. وهكذا، فإن التربة التي تحتوي على كمية كبيرة من الطين يمكن أن تكون مبللة أكثر من اللازم عند إعطائها نفس الكمية من الماء التي تعتبر المثلى بالنسبة لمادة خفيفة تتكون من أنسجة نباتية متفتحة وزلط. وبالمثل، نجد تحت ظروف بيئية مماثلة، أن كمية الماء المثلى لمخلوط الأنسجة النباتية الخفيفة قد يكون غير كاف لمواد أخرى مثل الرمل. ويجب- لتجنب خطورة انحباس الماء- التأكد من أن المادة ذات صرف جيد. وعادةً ما يتم ري أوعية نمو النباتات بالزيادة حتى تكون المادة عند أقصى إبقاء للماء بعد كل رية. ويكون ذلك مريحًا؛ نظراً لأن نباتات البيوت المحمية تنمو عند مستويات مرتفعة نسبيًا من الغذاء، كما تساعد عملية غسيل الوعاء عند كل رية على منع تراكم الأملاح.

وتزداد كمية الماء المتسربة من المادة المحيطة بالجذر مع نمو النبات. وسوف تساعد عملية إضافة ماء أكثر عند كل تطبيق فقط على تعويض جزئي للفقد المتزايد من الوعاء؛ نظراً لأن المادة المحيطة بالجذر تكون أصلاً كاملة البلل. وعلى ذلك، تكون الطريقة الرئيسية لإضافة الماء عن طريق زيادة عدد مرات الإضافة؛ ولكن لابد من معرفة عدد مرات الإضافة المثلى لكل حالة على حدة. وبينما تتحكم المادة المحيطة بالجذر في كمية الماء الممكن فقده قبل ظهور الإجهاد المائي، فإن معدل الفقد المائي يعتمد على نوع النبات ونوع وحجم الوعاء ومساحة سطح التربة المتعرض للجو ومساحة الورقة والظروف البيئية من درجة حرارة ورطوبة نسبية وكثافة الحزمة الإشعاعية.

ويصل معدل نمو خلايا النبات وكفاءة عملياته الفسيولوجية المعقدة إلى أقصى مدى له عندما تصل الخلايا الى أقصى انتفاخ لها. ونجد، بالنسبة للنبات المعرض للبناء الضوئي، أن امتصاص ثاني اكسيد الكربون من خلال جدران الخلية الرطبة والمعرضة للجو مرتبط بفقد الماء من أنسجة الورقة. ويؤدي ذلك إلى انخفاض كل من انتفاخ الخلية وكمية الماء الكامن الداخلية. وتتعرض خلايا النبات إلى إجهاد مائي عند فقد الماء وانخفاض ضغط انتفاح الخلية إلى أقل قيمة له[١٢].

وتعتبر عملية نمو كل من الخلية والورقة حساسة خاصةً للإجهاد المائي؛ نظراً لأن تمدد الخلية يحدث نتيجة لضغط الانتفاخ على جدران الخلية "اللينة". وقد تتوقف عملية النمو حتى قبل بدء ظهور علامات الذبول، فزيادة الإجهاد المائي من خفيف إلى متوسط، يزيد من تأثر العديد من عمليات الكيمياء الحيوية. فتتأثر بروتينات وكلورفيل البناء الضوئي تحت الإجهاد الخفيف؛ ويتأثر - تحت الإجهاد المتوسط - كل من مستوى خمائر الانقسام النيتروچينية ونمو هرمون الأيض (خاصةً حمض الأبسيسيك والإيثلين) وامتصاص ثاني أكسيد الكربون؛ بينما يحدث - تحت الإجهاد المائي العنيف - تمزق لخلايا البروتوبلازم، وذلك كما هو موضح بزيادة التنفس وتراكم الأحماض الأمينية والسكريات[١٢].

ومع أن الإجهاد المائي عادةً ما يكون مرتبطًا بالذبول، إلا أن هذه الظاهرة تكون حالة متطرفة من الإجهاد الذي يمكن أن يحدث حتى في حالة وجود ماء كاف؛ نظراً

لتأخر عملية النتح عن عملية امتصاص الماء. وغالبًا ما يُرى هذا التأخر مع النباتات ذات الأوراق العريضة مثل (*Micotiana*) عندما يتبع يوم مشمس مضيء عدة أيام معتمة. وقد تسبب عملية رش النباتات بماء بارد أيضًا ذبولاً للأوراق نتيجة لصعوبة امتصاص الماء. وكما تم توضيحه سابقًا، فإن الإجهاد المائي الكافي الذي يؤثر عكسيًا على نمو النبات وتطوره يمكن أن يحدث بدون رؤية علامات الذبول. إن المشكلة مع رش النباتات التي تنمو في أوعية في البيت المحمي إلى أقصى سعة احتفاظ بالماء مرتين إلى ثلاثة مرات يوميًا تكمن في تناقص الماء المتاح للنبات بمعدل أكبر بين كل رشتين عما لو كان النبات في الحقل أو في مساكب كبيرة. وقد تؤدي هذه الدورة السريعة من الرش والجفاف إلى إجهاد مائي أولي بدون ظهور علامات لذبول النبات أو ظهور أي علامات أخرى تدل على الإجهاد حتى يحدث التلف. فعلى سبيل المثال، قد يظهر على الطماطم التي تنمو في أوعية تحت درجة حرارة ملائمة وشدة إضاءة مرتفعة تلف للجذور وظهور علامات على الأوراق تدل على اختلال نسبة الكالسيوم، وذلك عند الرش اليدوي عادةً مرتين أو ثلاث مرات في اليوم. ولكن لاتظهر تلك العلامات عند الرش المستمر باستخدام الري بالتنقيط أثناء فترة الإضاءة اليومية. ولا تظهر على الذرة – تحت نفس الظروف – أي صعوبات واضحة، ولكن سوف ينخفض النمو جذريًا عند رش الماء يدويًا، وذلك بالمقارنة باستخدام نظام ري بالتنقيط آلي.

وقد تم وصف العناصر المعدنية الخاصة بنمو النبات وتأثيرات نقص تلك العناصر أو سُميتها بشيء من التفصيل في مراجع أخرى، وعلى هذا فسوف تتم التغطية هنا باختصار [١٣٢]. فالعناصر الأساسية الخاصة بنمو النبات هي النيتروچين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم والكبريت. و العناصر الصغرى هي الحديد والمنجنيز والبورون والزنك والموليبدينوم والكوبلت والكلورين والصوديوم. ولايعتبر وجود هذه العناصر مهمًا فقط لنمو النبات، بل لابد من وجود توازن بين هذه العناصر وبعضها البعض. وعلى ذلك فإضافة عنصر واحد فقط مثل النيتروجين أو زيادة الكمية منه سوف يفسد ويقلب الاتزان بين النيتروجين والبوتاسيوم، وقد ينتج عن ذلك تدمير شامل للأوراق. والأكثر من ذلك، لابد وأن

يكون مستوى الحموضة (pH) للتربة مضبوطًا حتى عندما يمتص النبات كل ما يحتاجه من عناصر غذائية باتزان. وعادة ما تعتبر مستويات الحموضة بين ٦ و ٧ كافية لنمو معظم محاصيل البيوت المحمية باستثناء بعض الأصناف مثل الأزاليّات والكوبيّة، فقد تنمو تلك الأصناف بمعدل أفضل عند مستويات حموضة ٥ أو ٥,٥. ويبدو أن هذه النباتات الأخيرة ليس لها القدرة على امتصاص ونقل الحديد بكفاءة عند مستويات مرتفعة من الحموضة. و يصبح الألومنيوم والمنجنيز أكثر ذوبانًا عند مستويات حموضة أقل بكثير من ٥. وقد يحدث امتصاص للمنجنيز الزائد بواسطة النبات حتى يصل إلى مستويات سُمية، وقد يتداخل الألومنيوم مع كل من الكالسيوم والفوسفات الممتص.

وفي الحقيقة، إن وجود كل العناصر الضرورية في التربة لايضمن قيام النبات بامتصاص ونقل كل تلك العناصر. وكما تمت ملاحظته، فإن مستوى الحموضة يمكن أن يغيّر من معدل امتصاص الحديد. وسوف تظهر أعراض نقص الكالسيوم على الطماطم نتيجة لدورة الرش والجفاف للمادة المحيطة بالجذر، أو نتيجة لاستخدام ماء بارد في الرش. وسوف يظهر شحوب يخضوري أو اصفرار غير سوي من جراء نقص الحديد على الطماطم والقُسْمُوس (عُشب أمريكي استوائي جميل الزهر من الفصيلة المركبة)، وذلك إذا أثقلت التربة بالماء[١٣]. وقد لا يمتص القرنبيط أو على الأقل لاينقل الكالسيوم إذا كانت الرطوبة النسبية مرتفعة باستمرار[١٣٣].

وسوف يصبح العديد من النباتات- عند خفض درجة الحرارة- ذا شحوب يخضوري بصرف النظر عن مستوى الغذاء المستخدم. فعلى سبيل المثال، قد نشر في بحث عدم حدوث امتصاص للنترات تقريبًا عند درجات حرارة أقل من ١٣°م[٣٤]. وسوف تزداد مقاومة النبات لمستويات سُمية المنجنيز مع ارتفاع درجة الحرارة[١٣٥]. وقد تحترق حواف أوراق البطاطس التي تنمو عند درجات حرارة يومية مرتفعة مع تجمع للصوديوم أو ارتفاع سُمّية الأملاح[١٢]. وتسبب درجة حرارة مرتفعة ٣٥ °م، بالنسبة للذرة[١١٤] والدخان[١٢٦]، أعراض نقص الكالسيوم في التربة المحتوية على كمية كافية من الكالسيوم. ويجب عمل اللازم نحو قياس المحتوى الملحي

المذاب، كما يجب أيضًا عمل تحاليل للأنسجة لمعرفة تركيب المعادن ولتجنب النقص المتوقع أو التأثيرات السُمية.

التعقيم للتحكم في الأوبئة

(PASTEURIZING FOR PEST CONTROL)

تعتبر عملية التحكم في الأوبئة التي تصيب الوسط الجذري إحدى مهام نظام إدارة كل بيت محمى. وتوجد العديد من الطرق المتاحة والمتضمنة لاستخدام الكيمياويات والحرارة والإشعاع.

ويعتبر بروميد الميثيل والكلوروبيكرين (مسيّل للدموع) من أكثر المواد الكيمياوية الشائعة الاستخدام. وتقضي هذه المواد على معظم فطريات التربة والحشرات وبذور الأعشاب الضارة والديدان السلكية (النيماتودا)[١٣٧]. ويجب توخي الحذر عند استعمال تلك المواد حيث إنها سُمية للإنسان أيضًا. وتوجد مركبات كيمياوية أخرى تم تطويرها بالنسبة لأنواع محددة من الأوبئة، مثل المبيدات الفطرية والدودية. ويجب على مستخدمي تلك المبيدات مراجعة قوانين الولاية والحكومة الخاصة باستخدام الكيمياويات في مواقع إنتاج النباتات.

وتموت كل أنواع البكتريا المسببة لأمراض النبات وحشرات التربة وڤيروسات النبات وبذور الأعشاب إذا تعرضت لدرجة حرارة ٤١,٥ °م ولمدة ٣٠ دقيقة[١٣٧]. وتُقتل كل الڤيروسات المقاومة للنباتات والبذور العشبية عند درجة حرارة ١٠٠ °م. وقد وجد أيضًا أن معاملة التربة مع ٧,٥ مُراد من أشعة جامة قد أدت إلى تدمير أقل لأنشطة الكيمياء الحيوية عن استخدام الحرارة الجافة. وذُكر أن استخدام تركيبة من الإشعاع الأيوني والحرارة الجافة تعطي نتائج طيبة، ولكن تتطلب – لإنجاز التعقيم – خفضًا جذريًا للجرعة الإشعاعية[١٣٩].

ويتم تزويد الحرارة الجافة لتعقيم الوسط إما بواسطة هواء ساخن يتصل مباشرةً مع جسيمات مادة الوسط، أو بتسخين وعاء مادة الوسط. ويتم انتقال الحرارة في أي من الطريقتين باستخدام التوصيل والحمل لنقل الحرارة إلى سطح

الجسيمات وإلى داخل الجسيم نفسه. ونظراً لانخفاض معامل التوصيل الحراري لمركبات مادة الوسط، فإنه يصعب التسخين إلى درجة الحرارة المرغوبة باستخدام حرارة جافة.

وقد وجد- عند إنتاج الطماطم- أن الفشل في استخدام تربة معقمة بخارياً للتحكم في العفن الجذري ناتج عن إعادة تلوث التربة المعقمة بالجراثيم المنقولة هوائياً[١٤٠].

وتستخدم عملية التعقيم بالبخار منذ فترة طويلة للمراقد الأرضية والمراقد المرتفعة والأوعية. والطريقة الشائعة الاستخدام عن طريق توفير بخار مشبع بواسطة بعض الوسائل الميكانيكية مع الاستمرار في تزويد البخار حتى تصل أبرد منطقة إلى درجة حرارة ٨٣ °م. ويتم منع سريان البخار بعد ذلك وترك مادة الوسط تبرد طبيعياً باستخدام التوصيل والحمل. وجدير بالذكر أن زيادة درجات حرارة المعاملة سوف تزيد من تراكيز منجنيز التربة المتبادل والمذاب من أربعة أجزاء في المليون في التربة غير المسخنة إلى ٩ و٤٣ و٨٧ و١٠٨ أجزاء في المليون عند درجات حرارة ٦٦ و٧٧ و٨٨ و١٠٠ °م على الترتيب[١٤١]. وقد نشر في نفس البحث أن إنتاج الخيار قد زاد بنسبة ٨٪ في التربة المسخنة إلى ٨٨ °م عن التربة المسخنة إلى ١٠٠ °م.

وقد تم تأييد استخدام هواء مشبع (بخار مهوي) عند درجة حرارة مرتفعة بدلاً من بخار مشبع، وذلك لتجنب المشاكل الناجمة عن إعادة غزو الأمراض والتغيّرات في كيمياء التربة والتي تؤدي إلى تلف نباتي[١٣٧]. وقد نشر في بحث أن ٣٠ دقيقة تكون مطلوبة لقتل خمس فطريات عند التعرض إلى بخار مهوي عند درجة حرارة ٥٤,٤ °م، بينما كان المطلوب ١٥ دقيقة عند استخدام بخار مهوي عند ٧١,١ °م[١٤٢]. ويعتبر تسخين التربة عند درجة حرارة لا تقل عن ٧١,١ °م في فترة لا تزيد على ٣٠ دقيقة هي التوصية القياسية في التطبيقات العملية التجارية التي تم تطويرها بواسطة الأخصائيين في علم الأمراض والبَسْتَنَة.

وقد تم تطوير معلومات عن الخواص الطبيعية والحرارية للأراضي المختارة ومخلوطاتها المستخدمة في صناعة البيوت المحمية[١٤٣]. وقد وجد الباحثون أنه تم تسخين الوسط بواسطة توليفة من وسائل نقل الحرارة بالحمل والتكثيف

والتوصيل، وأن حوالي ٩٢٪ من الحرارة الكلية قد نتج عن تكثيف بخار الماء. وقد ارتبط التسخين للوسط عامةً بكل من الكثافة الظاهرية والمحتوى الرطوبي والحرارة النوعية ومعدل سريان البخار. وقد وجد أن أداء عملية التسخين تكون أكثر سهولةً عندما يكون المحتوى الرطوبي للوسط هو الأفضل لنمو النبات.

المراجع

1. Downs, R. J. 1975. Controlled environments for plant research. Columbia University Press, NY.

2. Downs, R. J. and H. Hellmers. 1975. Environment and the experimental control of plant growth. Academic Press, NY.

3. Krizek, D. T., W. A. Bailey and H. H. Klueter. 1970. A "head start" program for bedding plants through controlled environments. Proc. Third National Bedding Plant Conference, October 5-7. pp. 43-53.

4. Raschke, K. 1960. Heat transfer between the plant and the environment. Ann. Rev. Plant Physiol. 11:111-126.

5. Gates, D. M. 1980. Biophysical ecology. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin.

6. Precht, H., J. Christopherson, H. Hensel and W. Larcher. 1973. Temperature and life. Springer-Verlag, NY.

7. Tanner, C. B. and S. M. Goltz. 1972. Excessively high temperatures of seed onion umbels. J. Am. Soc. Hort. Sci. 97(1):5-9.

8. Gates, D. M. 1968. Transpiration and leaf temperatures. Ann. Rev. Plant Physiol. 19:211-238.

9. Jaffe, M. J. 1976. Thigmomorphogenesis: A detailed characterization of the response of beans to mechanical stimulation. Z. Pflanzenphysiol. 77:435-437.

10. Salisbury, F. B. 1979. Temperature. In: Controlled environment guidelines for plant research, T. W. Tibbits and T. T. Kozlowski, eds. pp. 75-116. Academic Press, NY.

11. Tanner, C. B. 1979. Temperature: Critique I. In: Controlled environment guidelines for plant research, pp. 117-130, T. W. Tibbits and T. T. Kozlowski, eds., Academic Press, NY.

12. Fitter, A. J. and R. K. M. Hay. 1981. Environmental physiology of plants, Academic Press, NY.

13. Went, F. W. 1957. The experimental control of plant growth. Chronica Botanica.

14. Went, F. W. 1961. Thermoperiodicity. Handbuch der Pflanzenphysiologie 16:11-22.

15. Mastalerz, J. 1977. The greenhouse environment. John Wiley & Sons, NY.

16. Sutcliffe, J. 1977. Plants and temperature. Arnold, London.

17. Winkler, E. 1971. Kartoffelbau in Tirol. II. Photosynthesee vermogen und respiration von verschiedenen kartoffelsorten. Potato Res. 14:1-18.

18. Larcher, W. 1975. Physiological plant ecology, Springer-Verlag, New York.

19. Alexandrov, V. Y. 1964. Cytophysical and cytoecological investigations of heat resistance of plant cells towards the action of high and low temperature. Q. Rev. Bio. 39:35-77.

20. Alexandrov, V. Y. 1977. Cells, molecules, and temperature. Conformational flexibility of macromolecules and econological adaptation. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

21. Ormrod, D. P. 1978. Temperature. In: A growth chamber manual: Environmental control for plants, R. W. Langhans, ed., Cornell University Press, Ithaca, NY. pp. 45-56.

22. Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stress. Vol. I. Chilling, freezing, and high temperature stresses. Academic Press, New York.

23. Turner, N. C. and P. J. Kramer. 1980. Adaptation of plants to water and high temperature stress. John Wiley and Sons, New York.

24. Altman, P. L. and D. Dittmer. 1966. Experimental biology. Biological Handbook, Fed. Am. Soc. Exptl. Biol.

25. Hellmers, H., M. K. Genthe and F. Ronco. 1970. Temperature affects growth and development of Engelmann Spruce. Forest Sci. 16:447-452.

26. Mauney, J. R. 1966. Floral initiation of upland cotton, *Gossypium hirsutum* L. in response to temperature. J. Exptl. Bot. 17:452-459.

27. Moore, E. L. 1975. Requirement for optimum greenhouse tomato growth and product quality for Tennessee Valley cultivars. Tennessee Valley Greenhouse Vegetable Workshop Bull. Y-94, pp. 78-90, Natl. Pert. Dev. Center, TVA, Muscle Shoals, AL.

28. Downs, R. J. 1980. Phytotrons. The Botanical Review. Nov.-Dec., 46(4):447-489.

29. Raper, C. D. and R. J. Downs. 1976. Field phenotype in phytotron culture: A case history. The Botanical Review 42:317-343.

30. Evans, L. T. 1969. The nature of flower induction. In: The induction of flowering. L. T. Evans, ed., Cornell Univ. Press, NY, pp. 457-475.

31. Vince-Prue, D. 1975. Photoperiodism in plants. McGraw-Hill, NY.

32. Downs, R. J. and J. M. Bevington. 1981. Effect of temperature and photoperiod on growth and dormancy of *Betula papyrifera*. Am. J. Bot. 68(6):795-800.

33. Krizek, D. T., H. H. Klueter, and W. A. Bailey. 1972. Effects of day and night temperature and type of container on the growth of F_1 Hybrid annuals in controlled environments. Am. J. Bot. 59(3):284-289.

34. Matsui, T. and H. Eguchi. 1972. Effects of environmental factors on leaf temperature in a temperature-controlled room. II. Effects of air movement. Environ. Control in Biol. 10:105-108.

35. Krizek, D. T. 1969. Enriched environments for starting seedlings. Proc. 24th Ann. Amer. Hort. Cong. Am. Soc. Hort. Sci. pp. 12-16.

36. Langenberg, W. J., J. C. Sitton and T. J. Gillespie. 1977. Relation of weather variables and periodicities of airborne spores of *Alternaria dauri*. Phytopathology 67(7):879-883.

37. Klueter, H. H., W. A. Bailey and D. T. Krizek. 1970. Controlling environments from the engineering side. Proc. Third National Bedding Plant Conference, Oct. 5-7. pp. 28-32.

38. Krizek, D. T., W. A. Bailey and H. H. Klueter. 1971. Effects of relative humidity and type of container ont he growth of F_1 hybrid annuals in controlled environments. Am. J. Bot. 58:544-551.

39. Krizek, D. T. and J. E. Ambler. 1979. Influence of relative humidity and type of container on the uptake of Ca, Fe, P and Zn by cotton plants under greenhouse and growth chamber conditions. Proc. 1979 Beltwide Cotton Production Conf. p. 53.

40. Lipton, W. J. 1970. Effects of high humidity and solar radiation on temperature and color of tomato fruits. J. Am. Soc. Hort. Sci. 95(6):680-684.

41. Baird, L. S., Morrison and B. D. Webster. 1978. Relative humidity as a factor in the structure and histochemistry of plants. Hort. Science 13(5):556-558.

42. Rawson, H. M., J. C. Begg and R. G. Woodward. 1977. The effect of atmospheric humidity on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of leaves of several plant species. Plants. 134(1):5-10.

43. American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. 1981. Fundamentals Handbook Chapter 9, Environmental control of animals and plants, ASHRAE, pp. 9.10-9.18.

44. Downs, R. J. and H. A. Borthwick. 1956. Effects of photoperiod on growth of trees. Bot. Gaz. 117:310-326.

45. Downs, R. J., H. A. Borthwick, and A. A. Piringer, Jr. 1958. Comparison of Incandescent and fluorescent lamps for lengthening photoperiods. Proc. Am. Hort. Sci. 71:568-578.

46. Deutch, B. and B. I. Deutch. 1978. Spectral dependence of a single and a subsequent second light pulse inducing barley leaf unforlding. Photoghem. & Photobiol. 27:141-146.

47. Downs, R. J. and A. A. Piringer, Jr. 1958. Effects of photoperiod and kind of supplemental light on vegetative growth of pines. For. Sci. 4(3):185-195.

48. Whalley, D. N. and K. E. Cockshull. 1976. The photoperiodic control of rooting, growth and dormancy in *Cornus alba* L. Sci. Hort. 5:127-138.

49. Jose, A. M. and D. Vince-Prue. 1978. Phytochrome action: A reappraisal. Photochem. & Photobiol. 27:209-216.

50. Nitsch, J. P. 1957a. Growth responses of woody plants to photoperiodic stimuli. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 70:512-525.

51. Nitsch, J. P. 1957b. Photoperiodism in woody plants. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 70:526-544.

52. Perry, T. O. 1971. Dormancy of trees in winter. Science 171(3966):29-36.

53. Withrow, A. P. 1958. Artificial lighting for forcing greenhouse crops. Purdue Univ. Agr. Expt. Sta. Bul. 533.

54. Withrow, R. B. and M. H. Richman. 1933. Artificial radiation as a means of forcing greenhouse crops. Purdue Univ. Agr. Expt. Sta. Bul. 380.

55. Withrow, A. P. and R. B. Withrow. 1947. Comparison of various lamp sources for increasing growth of greenhouse crops. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 49:363-366.

56. Cathey, H. M. and L. E. Campbell. 1975. Effectiveness of five vision-lighting sources on photo-regulation of 22 species of ornamental plants. J. Am. Soc. Hort. Sci. 100(1):65-71.

57. Cathey, H. M., G. G. Smith, L. E. Campbell, J. G. Hartsock and J. U. McGuire. 1975. Response of *Acer rubrum* L. to supplemental lighting reflective aluminum soil mulch, and systemic soil insecticide. J. Am. Sco. Hort. Sci. 100:234-237.
58. Boodley, J. W. 1970. Artificial light sources for Gloxinia, African Violet, and Tuberous Begonia. Plants & Gardens 26:38-42.
59. Dunn, S. 1975. Lighting for plant growth or maintenance. Flor. Rev. 156(4054):41, 86-90.
60. Biran, I. and A. M. Kofranek. 1976. Evaluation of fluorescent lamps as an energy source for plant growth. J. Am. Soc. Hort. Sci. 101(6):625-628.
61. Stoutemyer, V. T. and A. W. Close. 1946. Rooting cuttings and germinating seeds under fluorescent and cold cathode lighting. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 48:309-315.
62. Cathey, H. M., L. E. Campbell, and R. W. Thimijan. 1978. Comparitive development of 11 plants grown under various fluorescent lamps different duration of irradiation with and without additional incandescent lighting. J. Am. Soc. Hort. Sci. 103:781-791.
63. Fonteno, W. C. and E. L. McWilliams. 1978. Light compensation points and acclimatization of four tropical foliage plants. J. Am. Soc. Hort. Sci. 103:52-56.
64. Klueter, H. H. and D. T. Krizek. 1972. How to use controlled lighting to propagate and grow plants. pp. 205-209. In: Landscape for living, USDA Yearbook. 1972, (J. Hayes, ed.) U.S. Dept. Agr., Washington, D.C.
65. Bickford, E. D. and S. Dunn. 1972. Lighting for plant growth. The Kent State University Press.
66. Krizek, D. T., W. A. Bailey, H. H. Klueter, and H. M. Cathey. 1968. Controlled environments for seedling production. Proc. Intern. Plant Prop. Soc. 18:273-280.
67. Cathey, H. M. and L. E. Campbell. 1979. Relative efficiency of high and low-pressure sodium and incandescent filament lamps used to supplment natural winter light in greenhouses. J. Am. Soc. Hort. Sci. 104:812-825.
68. Duke, W. B. et al. 1975. Metal halide lamps for supplemental lighting in greenhouses. Crop response and spectral distribution. Agron. J. 67:49-63.
69. Carpenter, W. J. 1976. Phytosynthetic supplementary lighting of spray pompon, *Chrysanthemum morifolium*. Ramat. J. Am. Soc. Hort. Sci. 101:155-158.
70. Carpenter, W. J. and G. R. Beck. 1973. High intensity of supplementary lighting of bedding plants after transplanting. HortSci. 8(6):482-483.
71. White, J. W. 1974. Supplemental lighting for rose production. ASAE Paper No. 74-4043, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
72. Carpenter, W. J. and G. A. Anderson. 1972. High intensity supplementary lighting increases yields of greenhouse roses. J. Am. Soc. Hort. Sci. 97:331-334.
73. Austin, R. B. and J. A. Edrich. 1974. A comparison of six sources of supplementary light for growing cereals in glasshouses during winter time. J. Agr. Eng. Res. 19:339-345.
74. Downs, R. J., W. T. Smith, and G. M. Jividen. 1973. Effect of light quality during the high-intensity period of growth of plants. ASAE Paper No. 73-4525, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
75. Anderson, G. A. and W. J. Carpenter. 1974. High intensity supplementary lighting of chrysanthemum stock plants. HortSci. 9:58-60.
76. Krizek, D. T. and R. H. Zimmerman. 1973. Comparative growth of birch seedlings grown in the greenhouse and growth chamber. J. Am. Soc. Hort. Sci. 98(4):370-373.
77. Zimmerman, R. H., D. T. Krizek, W. A. Bailey, and H. H. Klueter. 1970. Growth of crabapple seedlings in controlled environments. Influence of seedling age and CO_2 content of the atmosphere. J. Am. Soc. Hort. Sci. 95(3):323-325.
78. Krizek, D. T. 1972. Accelerated growth of birch in controlled environments. Proc. Intern. Plant Prop. Soc. 22:390-395.
79. Krizek, D. T. 1982. Guidelines for measuring and reporting environmental conditions in controlled environment studies. Physiol. Plant 56: 231-235.
80. Frank, A. B. and R. E. Barker. 1976. Rates of photosynthesis and transpiration and diffusive resistance of six grasses grown under controlled conditions. Agron. J. 68:487-490.
81. Wilson, D. R., C. J. Fernandez, and K. J. McCree. 1978. CO_2 exchange of subterranean clover in variable light environments. Crop Sci. 18:19-22.
82. Patterson, D. T., M. M. Peet and J. A. Bunce. 1977. Effect of photoperiod and size of flowering on vegetative growth and seed yield of soybean. Agron. J. 69:631-635.
83. Tibbitts, T. W., J. C. McFarlane, D. T. Krizek, W. L. Berry, P. A. Hammer, R. W. Langhans, R. A. Larson, and D. P. Ormrod. 1976. Radiation environment of growth chambers.

J. Am. Sco. Hort. Sci. 101:164-170.
84. Buck, J. A. 1973. High intensity discharge lamps for plant growth application. TRANSACTIONS of the ASAE 16(1):121-123.
85. Raper, C. D., Jr. and J. F. Thomas. 1978. Photoperiodic alteration of dry matter partitioning and seed yield in soybeans. Crop Sci. 18:654-656.
86. Downs, R. J. and V. P. Bonaminio. 1976. Phytotron procedural manual for controlled-environment research at the Southeastern Plant Environment Laboratory. North Carolina Agr. Expt. Sta. Tech. Bul. 244.
87. Tibbitts, T. W., J. C. McFarlane, D. T. Krizek, W. L. Berry, P. A. Hammer, R. H. Hodgson and R. W. Langhans. 1977. Contaminants in plant growth chambers. HortSci. 12:310-311.
88. Bailey, W. A., H. H. Klueter, D. T. Krizek, and N. W. Stuart. 1970. CO_2 systems for growing plants. TRANSACTIONS of the ASAE 13(3):263-268.
89. Wareing, P. F., M. M. Khalifr and K. J. Treherne. 1968. Rate-limiting processes in photosynthesis at saturating light intensities. Naturwissen-schaften 220:453-457.
90. Measures, M., P. Weinberger, and H. Baer. 1973. Variability of plant growth within controlled-environment chambers as related to temperature and light distribution. Can. J. Plant Sci. 53:215-220.
91. Hanan, J. J., W. D. Holley, K. L. Goldsberry. 1978. Greenhouse management. Chap. 8, Carbon dioxide and pollution, Springer Verlag, New york, pp. 323-350.
92. Kakahashi, K. 1977. Increase in photosynthetic rate of vegetable crops with CO_2 enrichment. Acta Hort. 76:137-140.
93. Aikin, W. J., and J. J. Hanan. 1975. Photosynthesis in the rose; Effect of light intensity, water potential, and leaf age. J. Am. Soc. Hort. Sci. 100:551-553.
94. Thompson, C. J. and J. J. Hana. 1975. Effect of CO_2 concentrations onroses. I. CO_2 uptake by individual leaves. Colo. Flower Growers' Assoc. Bull. 306, pp. 1-4.
95. Gaastra, P. 1963. Climatic control of photosynthesis and respiration, In: Envrionmental control of plant growth, L. T. Evans, ed., Academic Press, pp. 113-140.
96. White, R. A. J. 1977. Response of tomatoes to low night high day temperatures and carbon dioxide enrichment. Acta Hort. 76:141-146.
97. Skelly, J. M., M. F. George, H. E. Heggestad, and D. T. Krizek. 1979. Air pollution and radiation stresses. Chapter 2.4, pp. 114-138. In: Modification of the aerial environment of plants. ASAE Monograph No. 2. B. J. Barfield and J. F. Gerber, (eds.). ASAE, St. Joseph, MI 49085.
98. Mellor, R. S., F. B. Salisbury, and K. Raschke. 1964. Leaf temperatures in controlled environments. Planta. 61:56-72.
99. Grace, J. 1977. Plant responses to wind. Experimental Botany Monograph, Vo. 13, Academic Press, New York, 204 pp.
100. Drake, B. G., K. Raschke, and F. B. Salisbury. 1920. Temperatures and transpiration resistances of *Xanthium* leaves as affected by air temperature, humidity, and wind speed. Plant Physiol. 46:324-330.
101. Gates, D. M. 1976. Energy exchange and transpiration. In: Water and plant life, C. O. Lange, L. Kappen and E. Schulze, eds., Springer-Verlag, New York. pp. 137-147.
102. Krizek, D. T. 1978. Air movement. In: A growth chamber manual: Environmental control for plants, R. W. Langhans, ed., Cornell University Press, Ithaca, N.Y., pp. 107-116.
103. Tranquillini, W. 1969. Photosynthese and transpiration einiger Holzarten bei verschieden stackem. Wind. Gentbl. ges. Forstw. 86:35-49 (cited by Grace, 1977). Centralblatt fur das gesamte Forstwesen.
104. Fitter, A. H., and R. K. M. Hay. 1981. Environmental physiology of plants. Experimental botany monograph, vol. 15, J. F. Sutcliffe, ed., Academic Press, New York.
105. Salisbury, F. B. 1979. Temperature. In: Controlled environment guidelines for plant research, T. W. Tibbitts and T. T. Kozlowski, eds., Academic Press, New York, pp. 75-116.
106. Boodley, J. W. and R. Sheldrak. 1972. Cornell peat-lite mixes for commercial plant growing. Cornell Univ. Exten. Info. Bull. 43.
107. de Broodt, M. (Chm.). 1974. Symposium on artificial media in horticulture. Acta Hort. No. 37, (a) Brent, A. C., pp. 1954-1965, (b) de Broodt, M., pp. 1909-1917, (c) Gartner. J. B. et al. pp. 2003-2012, (d) Nowasielski, O. pp. 1992-2002.
108. Brooking, I. R. 1975. Soilless potting media for controlled-environment facilities. N. Z. Jour. Expt. Agri. 4:203-208.

109. Beardsell, O. V. 1979. Physical properties of nursery potting mixtures. Scientia Hort. 11:1-8, 9-17.
110. Penningfeld, F. (chm). 1972. 3rd Symposium on peat in horticulture. Acta Hort., No. 26. (a) de Broodt, M. and O. Verdonck, pp. 37-44. (b) Kaukovirta, E., pp. 119-124, (c) Morgan, J. V. pp. 149-158.
111. Watts, W. R. 1975. Air and soil temperature differences in controlled environment as a consequence of high radiant flux densities and of day/night temperature changes. Plant and Soil 42:299-303.
112. Torrey, J. G. 1953. Effects of light on elongation and branching in pea roots. Plant Pysiol. 27:591-602.
113. Benton-Jones, J. 1975. Greenhouse tomato nutrition. Greenhouse Vegetable Workshop, Bull. y-94, pp. 93-95. Natl. Fert. Dev. Center, TVA, Muscle Shoals, AL.
114. Walker, J. M. 1969. One degree increments in soil temperatures affect maize seedling behavior. Proc. Soil Sci. Am. 33:729-736.
115. Heydecker, W. (ed). 1973. Seed cology. Penn. State Univ. Press, PA. (a) Gutterman, Y. pp. 59-80, (b) Hegarty, T. W., pp. 441-432.
116. Smith, L. B. and R. J. Downs. 1974. Pitcairnioideae. Flora Neotropica, Monograph 14, Hafner Press, NY.
117. Koller, D. 1972. Environmental control of seed germination. In: Seed biology, vol. 2 (T. E. Kozlowski, ed.). Academic Press, NY. pp. 1-102.
118. Toole, E. H., S. B. Hendricks, H. A. Borthwick and V. K. Toole. 1956. Physiology of seed germination. Ann. Rev. Plant Physiol. 7:299-324.
119. Mayer, A. M. and A. Poljakoff-Mayber. 1963. The germination of seeds. Pergamon Press, Oxford Lond.
120. Cooper, A. J. 1973. Root temperature and plant growth. Res. Rev. Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops.
121. Phatak, S. C., S. H. Wittwer and F. G. Teubner. 1966. Top and root temperature effcts on tomato flowering. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 88:527-531.
122. Bateman, D. F. and A. W. Dimock. 1959. The influence of temperature on root rots of poinsettia caused by *Thielaviopsis basicola, Rhizoctonia solani* and *Phythium ultimum*. Phytopathology 49:641-647.
123. Krug, H. (chm) 1974. Symposium on basic problems of protected vegetable production. Acta Hort. No. 39, (a) Folster, E. pp. 153-159.
124. Northey, J. E., C. E. Hendershott and J. F. Gerber. 1968. Effect of three rot stocks and three soil temperatures on growth of Orlando tangelos. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 93:199-204.
125. Biran, I. and A. Eliassaf. 1980b. The effect of container size and seration conditions on growth of roots and canopy of woody plants. Sci. Hort. 12:385-394.
126. Biran, I. and A. Eliassaf. 1980a. The effect of container shape on the development of roots and canopy of woody plants. Sci. Hort. 12:183-193.
127. Kramer, P. J. 1969. Plant and soil water relationships: A modern synthesis. McGraw-Hill, NY.
128. Kozlowski, T. T. 1972. Water deficit and plant growth. Academic Press, NY.
129. Mussell, H. and R. C. Staples. 1979. Stress physiology in crop plants. John Wiley & Sons, NY.
130. Bewley, J. D. 1979. Physiological aspects of dessication tolerance. Ann. Rev. Plant Physiol. 30:195-238.
131. Krizek, D. T. 1982. Plant response to atmospheric stress caused by waterlogging. In: Breeding plants for less favorable environments, M. N. Christiansen and C. F. Lewis, eds., John Wiley & Sons, New York. pp. 293-334.
132. Bahrt, G. M. et al. 1941. Hunger signs in crops. Am. Soc. Agron. and Natl. Fertilizer Assoc.
133. Krug, H., H. J. Wiebe and A. Jungk. 1972. Calciummangel an blumenkohl unter konstanten klimabedingungen. Zeitsch. f. Pflanzenernahrung und Bodenkunde 133:213-226.
134. Williams, D. E. and J. Blamis. 1962. Differential cation and ion absorption as affected by climate. Plant Physiol. 37:198-202.
135. Rufty, T. W., G. S. Miner and C. D. Raper. 1979. Temperature effects on growth and manganese tolerance in tobacco. Agron. J. 71:638-644.
136. Chang, S. Y., R. H. Lowe and A. J. Hiatt. 1968. Relationship of temperature to the development of calcium deficiency symptoms in *Nicotiana tabacum*. Agron. J. 60:435-436.

137. Baker, K. F. (ed.) 1957. The U. C. system for producing healthy container-grown plants. Manual 23, Univ. of California, Division of Agricultural Sciences.

138. Shih, K. L. and K. A. Souza. 1978. Degradation of biochemical activity in soil sterilized by dry heat and gamma radiation. Origins of Life, vol. 9. September.

139. Reynolds, M. C., K. F. Lindell and T. J. Davis. 1973. Thermoradiation sterilization of naturally occurring microorganisms in soil from Kennedy Space Center, NASA CR 132197. May.

140. Rowe, R., J. Farley and D. Coplin. 1977. Airborne spore dispersal and recolonization of steamed soil by fusarium oxysporism in tomato greenhouses. Phytopathology, 67(12):1513-1517.

141. Dawson, J. R., A. A. T. Killy, M. H. Ebben and F. T. Last. 1967. The use of steam/air mixture for partially sterilizing soils infested with cucumber root rot pathogens. Annals of applied biology 60:215-222.

142. Wuest, P. H. and R. K. Moore. 1972. Additional data on the thermal sensitivity of selected fungi associated with *Agaricus bisporus*. Phytopathology 62(12):1470-1474.

143. Deiner, G. H., R. A. Aldrich and M. E. Schroeder. 1977. Heating soils and soil mixes with saturated air. TRANSACTIONS of the ASAE 20(1):126-130.

144. Cathey, H. M., L. H. Campbell and R. W. Thimijan. 1983. Radiation and plant response: A new view. pp. 323-331. In: Strategies for Plant Reproduction, W. J. Meudt (ed.), Allanheld, Osmun Publ., Toronto.

145. Cathey, H. M. and L. E. Campbell. 1980. Light and lighting systems for horticultural plants. Hort. Rev. 2:491-537.

146. Parker, M. W. and H. A. Borthwick. 1949. Growth and composition of Biloxi soybean grown under controlled environment with radiation from different carbon arc lamps. Plant Physiol. 24:345-358.

147. Warrington, I. J. 1977. Lighting systems in controlled environment chambers. Proc. Workshop on Controlled Environments. Tech. Rpt. 6:12-19. D.S.I.R. Palmerston North, N.Z.

الفصل الحادي عشر

معدل سريان الهواء لمنشآت البيوت المحمية*

(QUANTITY OF AIR FLOW FOR GREENHOUSE STRUCTURES)

•مقدمة • الاتزان الحراري لبيت محمي • الاتزان الكتلي لبيت محمي مهوي • اختيار قيم حسابات انتقال حرارة- كتلة • بعض التطبيقات النموذجية • الخلاصة

مقدمة

(INTRODUCTION)

يتم التحكم في درجات الحرارة- نتيجة الطاقة الشمسية المكتسبة داخل البيوت المحمية- باستخدام التهوية مع الهواء الخارجي. وقد يكون نظام التهوية وحده في كثير من الأحيان وخاصةً في الصيف غير كاف لخفض درجة الحرارة إلى المستوى المطلوب، فيتم خفض درجة الحرارة في تلك الحالات باستخدام نظام تبريد تبخيري. ويعمل التبريد التبخيري أيضًا على زيادة رطوبة الهواء وتقليل الإجهاد المائي على النبات. وتعتبر نظم التهوية الطبيعية والميكانيكية من النظم الشائعة الاستخدام، ويكون أداء تلك النظم جيدًا إذا حدث تبادل كاف للهواء. ويعتبر استخدام التهوية الميكانيكية ضروريًا مع نظام التبريد التبخيري.

ومن الشائع تطبيق الاتزان الحراري على البيت المحمي لمعرفة مدى الحاجة إلى التهوية، ولتقدير ما إذا كان البيت المحمي في حاجة إلى تهوية فقط أو إلى تهوية وتبريد. ويتم ذلك عن طريق مساواة المكتسبات الحرارية مع الفواقد الحرارية.

---

* چون ن. ووكر : جامعة كينتاكي - ليكسنجتون
روبرت أ. آلدريش : جامعة كيناكتيكات - ستورز
تيد هـ. شورت : مركز الأبحاث والتطوير الزراعي - أوهايو، ووستر

ويعتبر تطبيق ظروف الحالة المستقرة على البيوت المحمية التجارية من الطرق الشائعة الاستخدام لتقدير متطلبات كل من التهوية والتدفئة[٥،١] . وقد طوّر عدد من الباحثين تحليلات ظروف الحالة الديناميكية المتغيّرة أو غير المستقرة، والتي يمكن من خلالها تقييم التغيّرات في درجات الحرارة الداخلية والخارجية وتأثير التخزين الحراري في المنشأة والنبات أو كتلة الأرض[٤،٣] . وتعتبر التحليلات الديناميكية ذات قيمة خاصةً إذا ما استخدمت كأداة بحثية لتقييم تأثيرات التغيّرات على العوامل التصميمية .

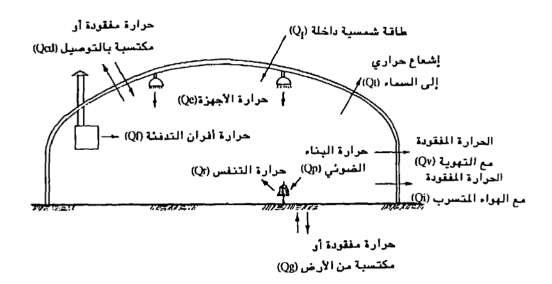
الاتزان الحراري لبيت محمي

(ENERGY BALANCE FOR A GREENHOUSE)

يوضح الشكل رقم (١ , ١١) مصادر الطاقة المختلفة التي يمكن أخذها في الاعتبار عند عمل الاتزان الحراري داخل البيت المحمي . ويمكن حساب الاتزان الحراري داخل البيت المحمي باستخدام المعادلة التالية، وذلك بفرض أن درجة حرارة الجو أقل من درجة الحرارة داخل البيت .

$$Q_I + Q_e + Q_f + Q_r = \pm(Q_{cd}+Q_g) + Q_v + Q_i + Q_t + Q_p \qquad (١١ , ١)$$

وقد تم تعريف أجزاء المعادلة السابقة في الشكل رقم (١ , ١١) . ويمكن تحديد كل جزء من أجزاء المعادلة السابقة بعلاقة واحدة تسمح بتقييم هذا الجزء عند ظروف معلومة . وتكون بعض المركبات صغيرة بطبيعتها بحيث يمكن إهمالها بالمقارنة بالمركبات الأخرى . فمثلا تعتبر حرارة النتح من أنسجة النبات صغيرة للغاية [٧،٦] . و تتغير تلك المركبة تغيّراً طفيفًا اعتماداً على ظروف النبات وظروف الإضاءة ودرجة الحرارة . وتكون فقط من ٨\١ إلى ١٠\١ الطاقة المصاحبة لعملية بناء ضوئي مرتفعة ونشطة . وبالرغم من أن الطاقة المصاحبة للبناء الضوئي أكبر من حرارة التنفس، إلا أنها مازالت صغيرة جداً بالمقارنة بالمكتسبات أو الفواقد الحرارية الأخرى . وتتولد فقط مع وجود الإشعاع الشمسي، وتمثل حوالي ٣٪ من الطاقة الإشعاعية الساقطة على أوراق النبات[٧،٦] . وعلى ذلك يمكن إهمالها في معظم الحالات .



شكل (١١,١). الطاقات المفقودة والمكتسبة في بيت محمي

ويمكن أن تكون الحرارة المتنقلة من أو إلى الأرض إما مكتسبة أو مفقودة، اعتماداً على درجة الحرارة الداخلية إما أعلى أو أقل من درجة حرارة الأرض عند عمق مناسب. وفي بعض الأحيان تكون أرضية البيت معزولة عن الأرض، كما تستخدم الأرضية كمخزن حراري مؤقت للطاقة الشمسية[٨]. وعامة يكون معدل انتقال الحرارة إلى الأرض- بالنسبة للأرضية غير المعزولة- صغيراً إلى حد ما، وذلك بالمقارنة بانتقال الحرارة من خلال غطاء البيت المحمي[٩]. ويمكن أن يكون هذا الجزء جوهريًا للغاية بالنسبة للبيوت المحمية التي لا تستخدم تدفئة أو في البيوت المحمية التي تتعطل فيها أجهزة التدفئة.

وتعتبر الحرارة المتولدة من التجهيزات المستخدمة مستمرة طالما تعمل الأجهزة. ومن أكثر أنواع كميات الحرارة المضافة من التجهيزات شيوعًا الإضاءات والمحركات الكهربائية وتجهيزات تهيئة البيئة. وتعتبر الحرارة المتولدة من تشغيل المحركات الكهربائية أو الإضاءة عبارة عن إضافة حرارية للبيت المحمي. وتوجد الحرارة المضافة من أفران التدفئة فقط في حالة التشغيل للمحافظة على درجة الحرارة داخل البيت المحمي عند المستوى المرغوب. وقد يكون ذلك مطلوبًا للإيفاء بالمتطلبات الحرارية أو للتحكم في الرطوبة. ويمكن تحديد معدل الحرارة المتولدة من

الأفران من بيانات المصانع المنتجة لتجهيزات التدفئة .

الطاقة الشمسية المكتسبة (Solar Heat Gain)

تعتبر الطاقة الشمسية ضرورية لنمو النباتات . وعلى ذلك لابد وأن يكون البيت المحمي ذا نفاذية عالية للطاقة الشمسية ، خاصةً في الشتاء عندما تكون مستويات الإضاءة بطبيعتها منخفضة . ويمكن تعريف الطاقة الشمسية المكتسبة كالآتي :

$$Q_I = \tau\ I\ A_f \qquad (١١,٢)$$

حيث :

τ = معامل نفاذية مادة غطاء البيت المحمي للطاقة الشمسية

I = شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي ، ك . واط/ م^{٢}

A_f = مساحة أرضية البيت المحمي ، م^{٢} .

وعلى ذلك يتم تغطية أجزاء من البيت المحمي في فصل الصيف بمواد عاكسة لتقليل كمية الطاقة الشمسية الداخلة . ولكن وبالرغم من استخدام تلك الطريقة ، إلا أنه لازالت توجد كمية كبيرة من الطاقة الشمسية تدخل إلى البيت المحمي . وتكون النتيجة وجود حمل طاقة كبير لابد من إزالته . ويمكن أن تكون الطاقة الشمسية الداخلة إلى البيت المحمي حتى في منتصف الشتاء كافية بحيث يستلزم عملية تهوية . وتتطلب عملية التهوية في تلك الفترات استخدام معدلات تهوية محدودة مع توخي الحذر في عملية توزيع الهواء داخل البيت لمنع انجراف تيار الهواء مسببًا برودة على أسطح النباتات .

الحرارة المكتسبة أوالمفقودة بالتوصيل

(Conduction Heat Loss or Gain)

توجد عدة أنواع من سريان الطاقة والتي يمكن أن تكون إما طاقة موجبة أو سالبة . وتعتبر الحرارة المفقودة بالتوصيل من خلال جدران البيت المحمي من أهم تلك الأنواع . وتعتبر الحرارة المفقودة بالتوصيل من أكبر مركبات الفقد الحراري أثناء فترة التدفئة الشتوية . ويرجع السبب في ذلك إلى ضعف خواص مواد الغطاء

المستخدمة بالنسبة للعزل الحراري، حيث في الغالب ما تكون تلك المواد رقيقة وذات معامل نفاذية مرتفع. وعادةً ما تستخدم طبقتان أو ثلاث طبقات من مواد أغطية البيت المحمي لتقليل الحرارة المفقودة بالتوصيل. وقد يتم دهن جزء أو حائط أو كل مساحة سطح البيت المحمي بمواد معتمة عازلة؛ أو قد يتم إضافة عازل حراري إضافي أثناء الليل عندما تصبح قيمة (Q_I) صفراً، وتكون درجات الحرارة الخارجية منخفضة. ويمكن التعبير عن كمية الحرارة المفقودة بالتوصيل كالآتي:

$$Q_{cd} = UA(T_i - T_o) \tag{١١,٣}$$

حيث:

U = معامل النقل الحراري الكلي، ك. واط/ (م٢. °م)

A = المساحة السطحية للبيت المحمي، م٢

Ti = درجة الحرارة داخل البيت المحمي، °م

To = درجة حرارة الهواء الخارجي، °م.

وتعتبر الحرارة المتنقلة بالتوصيل في الغالب حرارة مفقودة في الفترات التي تستخدم فيها نظم تهوية؛ نظراً لارتفاع درجة الحرارة الداخلية عن درجة الحرارة الخارجية. ويكون ذلك صحيحًا وبالأخص عندما تتركز الأشعة الشمسية مع عدم توافر أي طريقة من طرق التبريد. وقد تكون درجة الحرارة داخل البيت المحمي أقل من درجة الحرارة الخارجية في حالة تبريد البيت المحمي باستخدام التبريد التبخيري. ويمثل انتقال الحرارة بالتوصيل في تلك الحالة طاقة مكتسبة.

الحرارة المفقودة مع التهوية (Heat of Ventilation)

تعتبر الحرارة المفقودة مع هواء التهوية أهم مركبة فقد حراري من داخل البيت المحمي في فترات الأجواء الباردة بعد مركبة الحرارة المفقودة بالتوصيل. وتكون الحرارة المفقودة مع هواء التهوية في كلتا صورتيها المحسوسة والكامنة كالآتي.

$$Q_v = Q_{sv} + Q_{lv} \tag{١١,٤}$$

حيث:

Q_{sv} = الحرارة المحسوسة، ك. جول/ ث

Q_{lv} = الحرارة الكامنة، ك. جول/ ث.

وتعرّف الحرارة المحسوسة على أنها الجزء من الطاقة الكلية المفقودة مع هواء التهوية والمسببة في رفع درجة حرارة الهواء، بينما تعرّف الحرارة الكامنة على أنها الحرارة المفقودة في صورة بخار ماء. وتتولد الحرارة الكامنة أساسًا من تبخير ماء التربة ونتح النبات. ويمكن وصف الحرارة المحسوسة كالآتي:

$$Q_{sv} = (V/\nu)(C_p)(T_i - T_o) \quad (١١,٥)$$

حيث:

V = معدل سريان هواء التهوية، م^٣/ ث

ν= الحجم النوعي للهواء، م^٣/ كجم

يُقوّم عند الظروف الداخلية بالنسبة للمراوح الطاردة، وعند الظروف الخارجية بالنسبة للنظم الضاغطة.

C_p = الحرارة النوعية للهواء الجاف(١,٠)،ك. چول/ (كجم هواء جاف .°ك)

وتكون درجة حرارة الهواء الخارجي (T_o) في حالة استخدام التبريد التبخيري هي درجة حرارة الهواء الخارج من نظام التبريد. وقد تساوي تلك الدرجة في حالة استخدام مبرد تبخيري ذي كفاءة ٨٥٪:

$$T^{\wedge}_o = T_o - 0.85\ (T_o - T_{wb}) \quad (١١,٦)$$
$$= 0.15\ T_o + 0.85\ T_{wb}$$

حيث:

$T^{\wedge}_o$ = درجة حرارة الهواء الخارج من المبرد التبخيري، °م

T_{wb} = درجة الحرارة الرطبة للهواء الجوي، °م.

وقد أوضحت دراسات عديدة وجود ارتباط وثيق بين البخر– نتح الذي يحدث في البيت المحمي وبين الطاقة الشمسية الساقطة على المحصول[١٠،١١،١٢]. ففي الغالب ما تكون– بالنسبة للمحاصيل التي تنمو بنشاط– نسبة الطاقة المستخدمة في عملية البخر–نتح إلى الطاقة الشمسية الساقطة على الورقة ما بين ١,٠ و٠,٥[١٠]. ويوصى باستخدام القيمة ٠,٥ في البيوت المحمية، حيث نسبة كبيرة من الأوراق تكون غير معرضة لأشعة الشمس نتيجة لتشابك أفرع النباتات، وكذلك نتيجة وجود ظلال هيكل المبنى على الأوراق[١٠،١١]. ويسمح تعريف البخر–نتح في هذه الحالة بتحديد الحرارة الكامنة المفقودة مع التهوية كالآتي:

$$Q_{lv} = (E)(F)(Q_I) \quad (١١,٧)$$

حيث :

E = نسبة البخر - نتح إلى الإشعاع الشمسي

F = نسبة امتلاء البيت المحمي بالنباتات ، كسر عشري .

وتسمح النسبة (F) بعملية ضبط مناسبة في حالة ما إذا كانت نسبة حيّز النمو الفعلي إلى حيّز الممشى منخفضة ، أو في حالة ما إذا كانت أحجام النباتات صغيرة للغاية ، وكذلك في حالة جفاف مساحة كبيرة من حيّز مرقد النبات .

وتؤثر الظروف الجوية - بالإضافة لما سبق ذكره - على كمية الطاقة الشمسية المستخدمة في عملية البخر-نتح . فقد تتولد معدلات مرتفعة من البخر-نتح في الأجواء الحارة الجافة مع وجود نسبة رطوبة منخفضة للغاية . ويتيح ذلك استخدام معدلات ري كافية للمحافظة على النباتات وبقائها متفخة . ويمكن بالمثل في الأجواء الرطبة جداً تقليل البخر-نتح كجزء من الإشعاع الشمسي الكلي النافذ إلى البيت . ولكن يقترح عامةً استخدام قيمة متوسطة كلية للبخر ٥ , ٠ .

وتحسب الطاقة المفقودة مع الهواء المتسرّب من البيت المحمي بنفس طريقة حساب الطاقة المفقودة مع هواء التهوية . والتسرّب عبارة عن حركة هروب طبيعية للهواء من خلال التشققات أو أي فتحات أخرى صغيرة في بناء البيت المحمي نتيجة لفروق ضغط الرياح أو قوى الطفو الحراري . ويمكن تقليل تسرب الهواء عن طريق غلق وسد تلك الفتحات والشقوق . ويعتبر التسرب نوعًا من أنواع التهوية الطبيعية غير المتحكم فيها ، ويعتمد أساسًا على صيانة ونوع المنشأة . ويبين الجدول رقم (١ , ١١) معدلات تبادل الهواء الموصى باستخدامها نتيجة التسرب[١٣] . وعادةً ماتكون تلك القيم منخفضة في الأجواء الباردة نتيجة تجمد الرطوبة المتكثفة على شقوق الجدران .

تبادل الإشعاع الحراري (Thermal Radiation Exchange)

يمكن أن تكون الحرارة المنتقلة بالإشعاع الحراري (Q_t) مباشرةً من خلال جدران البيت المحمي إلى الجو الخارجي عاملاً مؤثراً عند استخدام مواد أغطية مثل البولي

جدول (١١,١). معدلات التبادل الهوائي الطبيعي نتيجة التسرب من البيوت المحمية.

نظام الإنشاء	التبادلات الهوائية في الساعة*
منشأة جديدة، زجاج أو ألياف زجاجية	٠,٧٥ - ١,٥
منشأة جديدة، طبقة مزدوجة من البلاستيك	٠,٥ - ١,٠
منشأة قديمة،	١,٠ - ٢,٠
منشأة قديمة، زجاج ذو حالة ركيكة	٢,٠ - ٤,٠

*تقلل سرعة الرياح المنخفضة أو الحماية من الرياح من معدل التبادل الهوائي. ويجب أن تستخدم القيمة ٠,٥ أو أقل في حالة انخفاض درجة الحرارة الخارجية عن درجة التجمد؛ نظراً لأن التكثيف المتجمد قد يسد الفتحات الصغيرة.

إيثيلين الذي يعتبر من المواد ذات الإمرارية العالية للإشعاع الحراري. ويمكن وصف العلاقة بالمعادلة التالية:

$$Q_t = C\,(T_i^4 - \varepsilon_a T_o^4) \qquad (١١,٨)$$

حيث:

$C = \varepsilon_s \tau_t \sigma A f$

ε_s = معامل الإصدار الحراري للأسطح الداخلية (يساوي تقريبًا ٠,٨٥)

τ_t = معامل النفاذية الحراري

σ = ثابت استافان-بولتزمان (٥,٦٧×١٠$^{-٨}$ واط/ م^{٢}. ك^{٤})

T_i = درجة الحرارة الداخلية المطلقة، °ك

T_o = درجة الحرارة الخارجية المطلقة، °ك

ε_a = معامل الإصدار الظاهري للجو، محدد في الجدول رقم (١١,٢).

وتعتبر معظم المواد المستخدمة في تغطية البيوت الزجاجية ضعيفة أو شبه معتمة بالنسبة للنفاذية للإشعاع الحراري. وقد لاتكون لهذه المركبة أهمية كبيرة في حسابات الاتزان الحراري. وقد يتضاءل معامل النفاذية إلى درجة كبيرة في حالة حدوث تكثيف لقطرات الماء على مادة البولي إيثيلين. ويرجع السبب في ذلك إلى إعاقة الماء لمرور الإشعاع الحراري في المدى (من ٢٠ إلى ٥٠°م). ومع ذلك فإنه من الشائع إضافة هذا الفقد الحراري إلى الجزء المحدد للفقد الحراري بالتوصيل (U).

جدول (١١,٢). معامل الإصدار الظاهري للجو

درجة الحرارة الرطبة، °م	ε_a
-١٧,٨	٠,٧٣
-٦,٧	٠,٧٧٥
٤,٤	٠,٨١٨
١٥,٦	٠,٨٥٨
٢٦,٧	٠,٨٨٣

ويوضح الجدول رقم (١١,٣) بعض قيم معاملات النفاذية الخاصة ببعض المواد المستخدمة في البيوت المحمية. ويمكن الحصول على قيم لمعامل الفقد الحراري بالتوصيل (U) ومعامل انتقال الحرارة بالإشعاع كلٌ على حدة من (ASHRAE)[16].

جدول (١١,٣). نسب إمرار الإشعاع الشمسي والحراري خلال أنواع مختلفة من الأغطية[١٧].

نوع الطبقة	المتوسط اليومي للإمرار الشمسي		الإمرار الحراري
	طبقة واحدة	طبقتين*	طبقة واحدة
بولي إيثيلين (٠,١ م)	٨٩	٧٩	٨٠
ألياف زجاجية، منبسطة (٠,٦٤ م)	٨٣	٧٠	١٢
ألياف زجاجية، محسنة (١,٠٢ م)	٧٣	٥٠	٦
بولي استر، مقاوم لظروف الجو، (٠,١٣ م)	٨٧	٧٨	٣٢
ألياف زجاجية، معرجة (١,٠٢ م)	٧٩	٦٢	٨
زجاج، (٣,١٨ م)	٨٨	٧٨	٣
كربونات متعدد، (١,٥٩ م)	٨٤	٧٣	٦
بولي ڤينيل كلوريد (٠,٠٨ م)	٩١	٨٤	٤٣

* يمكن الحصول على معامل الإمرار خلال أي تركيبة من مادتين مختلفتين من (Bond et al.)[17]

وينتج الآتي بتجميع المركبات السابقة في المعادلة رقم (١١,١) مع إهمال كل من حرارة التنفس (Q_r) وحرارة البناء الضوئي، (Q_p)، والحرارة المتبادلة مع الأرض (Q_g) وإضافة الحرارة المتولدة من التجهيزات (Q_e) إلى حرارة التدفئة (Q_f) :

$$\tau I A_f + Q_f = UA(T_i - T_o) + (V/v)(C_p)(T_i - T_o) + (E)(F)(\tau)(I)(A_f) + C(T_i^4 - \varepsilon_a T_o^4) \quad (١١ , ٩)$$

وقد اعتبرت الحرارة المفقودة بالإشعاع الحراري من خلال مادة غطاء البيت المحمي في هذه الحالة منفصلة عن الحرارة المفقودة بالتوصيل. أما إذا تم اختيار (U) بحيث تتضمن أيضًا الإمرار الحراري، فإنه يمكن خفض المعادلة السابقة إلى :

$$\tau I A_f + Q_f = UA(T_i - T_o) + (V/v)(C_p)(T_i - T_o) + (E)(F)(\tau)(I)(A_f) \quad (١١ , ١٠)$$

ويمكن حل هذه العلاقات بالنسبة لفصلي الصيف والشتاء لإيجاد معدل التهوية المطلوب لأي شكل من أشكال البيوت المحمية.

ويمكن خفض درجة الحرارة داخل البيت المحمي عن المستوى المطلوب في حالة ما إذا كان معدل التهوية المطلوب للتحكم في الرطوبة أو لمنع نضوب غاز (ك أ٢). ويمكن توفير مصدر حرارة خارجي في هذه الحالة للمحافظة على درجة الحرارة المرغوبة. ويتم حساب (Q_f) من المعادلة رقم (٩ , ١١) أو (١٠ , ١١) لمعرفة كمية الطاقة الواجب إضافتها للمحافظة على درجة الحرارة الداخلية المطلوبة.

الاتزان الكتلي لبيت محمي مهوي
(MASS BALANCE OF A VENTILATED GREENHOUSE)

مستويات الرطوبة الصيفية (Summer Humidity Levels)

يتم استخدام الاتزان الكتلي لإيجاد مستويات الرطوبة التي قد تتولد داخل بيت محمي مهوي. ويعتبر الاتزان الكتلي مماثلاً للاتزان الحراري المستخدم لإيجاد معدلات التهوية المطلوبة للتحكم في درجة الحرارة. وتعتبر العلاقات المستخدمة أكثر سهولة؛ نظراً لعدم وجود انتقال للرطوبة خلال جدران البيت المحمي. وعلى ذلك يكون الاتزان الكتلي بالنسبة لظروف صيفية كالآتي :

$$W_p = W_{ve} \quad (١١ , ١١)$$

حيث :

W_p = الرطوبة المضافة لبيئة البيت المحمي بواسطة النتح، كجم/ ث

W_{ve} = الرطوبة المتبادلة مع هواء التهوية، كجم/ ث .

ويمكن وصف الرطوبة المزالة مع هواء التهوية بواسطة :

$$Mve = (V/v)(Wi - Wo) \quad (١١ ,١٢)$$

حيث :

Mve = معدل الرطوبة المزالة ، كجم ماء/ ساعة

Wi = نسبة الرطوبة الداخلية ، كجم ماء/ كجم هواء جاف

Wo = نسبة الرطوبة الخارجية ، كجم ماء/ كجم هواء جاف

v = الحجم النوعي للهواء، م٣/ كجم

V = معدل الهواء المستخدم، م٣/ ساعة.

ويمكن الحصول على متوسطات قيم الرطوبة الصيفية المتطرفة من المعلومات الخاصة بكل من درجة الحرارة الجافة والرطبة والمدونة في الجدول رقم(١) في الملحق (أ). ويمكن الحصول على نسبة الرطوبة الداخلية بحل العلاقات السابقة بالنسبة لمعدلات سريان هواء مختلفة. ويمكن التنبؤ بالرطوبة النسبية الداخلية بمعلومية نسبة الرطوبة ودرجة الحرارة الداخلية المتنبأ بها من المعادلة رقم (٩ ,١١) أو (١٠ ,١١).

مستويات الرطوبة الشتوية (Winter Humidity Levels)

يمكن التنبؤ بالرطوبة النسبية الداخلية في فصل الشتاء في بيت محمي مهوي يستخدم تقليب إيجابي للهواء باستخدام درجات الحرارة المتنبأ بها للسطح الداخلي، مع فرض أن تلك الدرجة هي درجة حرارة تكثيف نقطة-الندى، ومع الأخذ في الاعتبار لعمليات إعادة البخر من التربة وأسطح النبات[١٠]. وتكون العلاقة كالآتي :

$$R.H. = [100/(A+Ag)][Ag + (P_p \ .A)/P_g] \quad (١١ ,١٣)$$

حيث :

R.H. = الرطوبة النسبية الداخلية ، نسبة مئوية

A = مساحة حدود البيت المحمي ، م٢

Ag = مساحة الأرضية المبللة ، م٢

Pp = ضغط البخار المشبع والمصاحب لدرجة حرارة الحدود الداخلية ، كيلو باسكال.

P_g = ضغط البخار المشبع والمصاحب لدرجة حرارة الوسط الداخلية، كيلو باسكال.

ويمكن خفض الرطوبة بالتهوية إذا اعتقد المربون أن الرطوبات الشتوية تكون أعلى من المستويات المقبولة. ويمكن إيجاد التهوية المطلوبة أثناء اليوم باستخدام المعادلات أرقام (٩, ١١) و(١٠, ١١) و(١٢, ١١) و(١٣, ١١). وقد تكون الرطوبة المتولدة أثناء الليل داخل البيت المحمي أقل من المتحصّل عليها بواسطة المعادلة رقم (٧, ١١). وقد وصف (Walker and Walton)[15] تبخر الرطوبة في هذه الحالة كالآتي:

$$W_p = A_f K_d (P_g - P_a) \quad (١١, ١٤)$$

حيث:

K_d = معامل الانتشار

P_a = ضغط بخار هواء الجو الداخلي، كيلو باسكال.

ويمكن إيجاد الرطوبة النسبية في الليل لبيت محمي مهوى باستخدام هذه العلاقة والمعلومات السابقة.

اختيار قيم حسابات انتقال حرارة-كتلة

(SELECTION OF VALUES FOR HEAT-MASS TRANSFER CALCULATIONS)

تعتبر العلاقات والقيم التي سبق وصفها في المقطع الأخير من أكثر المعادلات الشائعة الاستخدام، كما أن القيم التي تستخدم مع أجزائها العديدة متوافرة في كثير من المراجع. ويتطلب اختيار القيم الأكثر ملاءمةً فهمًا لطبيعة البحث الحقلي والقدرة على تفسير ذلك البحث والمعرفة بظروف بناء المنشأة وفهم للصفات التجهيزية والإنشائية التي سوف تؤثر على الاتزانات الحرارية والرطوبية داخل البيت المحمي. ومن العوامل المهمة التي يجب أخذها في الاعتبار: الظروف التصميمية الداخلية والظروف التصميمية الخارجية وخصائص مادة الغطاء وشدة الإشعاع الشمسي.

الظروف التصميمية الداخلية (Interior Design Conditions)

لكي يتم تحديد معدل التهوية المطلوب، فإنه لابد أولاً من تعريف درجة الحرارة الداخلية. وقد تم عرض تأثير درجة الحرارة على النباتات في الفصل العاشر. ومن المعروف أن لكل نبات درجة حرارة مثلى لنموه. ولكن يعتبر الوصول إلى درجات الحرارة المثلى مكلفًا من الناحية الاقتصادية، كما أنه يصعب عمليًا الوصول إلى تلك الدرجات. فتتعرض درجة الحرارة المطلوبة داخل البيت المحمي ولمعظم المحاصيل إلى تغيّرات يومية وموسمية. ويجب بناءً على ذلك أن يتغيّر معدل التهوية أيضًا. ونظراً لاختلاف درجات الحرارة المرغوبة بين فترات الليل والنهار، فإنه غالبًا ماتستخدم مفاتيح ليل-نهار وقتية للتحويل بين مستويي التحكم.

ويُفضل- للحصول على مرونة في الأداء مع بعض التضحيات البسيطة بالنسبة للنباتات- أن تكون درجة الحرارة داخل البيت المحمي في المدى من ١٠ - ٢٨ ْم. و يسمح استخدام بيت محمي مع هذا المستوى من التحكم في درجة الحرارة بنمو معظم المحاصيل التجارية.

وكثيراً ماتزداد درجات الحرارة داخل البيت المحمي في الأيام الصافية الدافئة على درجة الحرارة المرغوبة والمتحكم فيها بواسطة التهوية. وقد تكون التهوية وحدها غير كافيةً، كما يجب استخدام التبريد التبخيري إذا كان يصعب مقاومة ارتفاع درجة الحرارة عدة درجات أعلى من درجة حرارة الجو. ويبين الجدول رقم (١) في الملحق (أ) درجات الحرارة التصميمية الصيفية لمناطق مختارة بعد استبعاد ٢,٥٪ من أدفأ القراءات بالنسبة لأدفأ أربعة شهور صيفية. وتتغيّر درجات حرارة الصيف المرتفعة بالنسبة للولايات المتحدة القارية مابين ٣٠ و٤٠ ْم. ويمكن خفض تلك الدرجات بواسطة التبريد التبخيري إلى المدى مابين ٢٠ و٣٠ ْم على الترتيب.

وعلى الرغم من أن درجة الحرارة داخل البيت المحمي من أهم العوامل البيئية الحرجة، إلا أن الرطوبة داخل البيت المحمي تعتبر أيضًا مهمةً للغاية. وقد تتولد مشاكل حادة مرتبطة بالتكثيف والأمراض إذا سُمح للرطوبة لتبقى عند أو بالقرب من التشبع لفترات طويلة. ولهذا السبب يجب حفظ الرطوبات النسبية في الشتاء عامةً عند مستويات أقل من ٨٥٪ بقدر الإمكان.

وتعتبر رطوبة نسبية أقل من ٧٠٪ أيضًا غير مرغوبة سواء في الشتاء أو في الصيف. ويرجع السبب في ذلك لما قد تضيفه من إجهادات على النباتات. ولهذا السبب يفضل استخدام التبريد التبخيري لما له من ميزة رفع نسبة الرطوبة للهواء المبرد الداخل إلى البيت المحمي، وذلك بالإضافة إلى كفاءة التبريد المرتفعة. فيعمل هذا النوع من المبردات على زيادة رطوبة الهواء بتبخير الماء في هواء التهوية.

الظروف التصميمية الخارجية (Exterior Design Conditions)

يحتوي الجدول رقم (١) في الملحق (أ) على درجات حرارة الجو التصميمية بالنسبة لكل من فصلي الصيف والشتاء لمناطق مختارة. وقد سُجِّلت في هذا الجدول درجتان حراريتان شتويتان تمثلان درجة الحرارة المنخفضة المتوقعة لمتوسط قراءات سنة بعد استبعاد أبرد ١٪ و٥ , ٢٪ من القراءات أثناء شهور ديسمبر و يناير وفبراير. ويوصى باستخدام تلك الدرجات مع استبعاد النسبة ١٪ بالنسبة للتصميمات الأكثر تحفظًا. وتعتبر درجات الحرارة الجافة والرطبة لفصل الصيف أدفأ قراءات أثناء شهور يونيو و يوليو وأغسطس وسبتمبر. ويكون المتوسط عند درجات الحرارة الباردة المتطرفة على مدار العام لمعظم المواقع حوالي ٢ °م أقل من القيم المسجلة في الجدول. ويمكن الحصول على بيانات الأرصاد الجوية لمناطق أخرى عديدة في الولايات المتحدة وكندا من (ASHRAE Guide and Data Book, Fundamentals)[16] .

وليس بالضرورة يجب أن تقع أقصى درجة حرارة رطبة في أي يوم في الفترات ذات أقصى درجة حرارة جافة. فقد أوضحت دراسة على بيانات أرصاد ٢٣ عامًا لمدينة ليكسنجتون بولاية كيتاكي أن درجة الحرارة الرطبة المتزامنة مع أقصى درجة حرارة جافة وأقصى درجة حرارة رطبة قد اختلفت في حدود ٣ °م. وقد أوضح (ASHRAE)[16] أن الأخطاء سوف تقل جذريًا بالنسبة للمناطق القريبة من السواحل. ونظرًا لأن الفرق حوالي ٣ °م فقط، فإنه يمكن استخدام هذه القيم من درجات الحرارة الرطبة لتقدير إمكانات التبريد التبخيري. وسوف تكون تلك التقديرات منخفضة بالنسبة لأداء النظام. ويوجد لدى نظم التبريد التبخيري المصممة جيدًا كفاءات تبريد حوالي ٨٥٪.

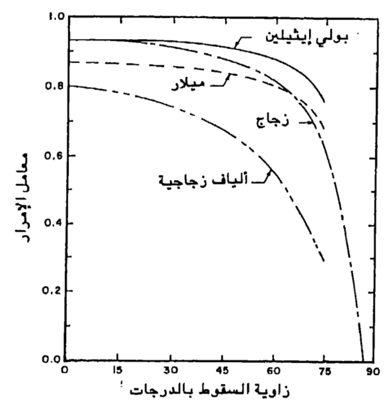
ويمكن الرجوع واستشارة أقرب محطة أرصاد محلية بالنسبة للبيوت المحمية التي تستخدم فقط في فترة محددة من السنة. ويمكن الحصول على بيانات الأرصاد من أقرب محطة أرصاد بالنسبة لموقع البيت المحمي. وعامةً يجب أن تصمم وتبنى البيوت المحمية لتسمح بالإنتاج على مدار العام.

خصائص مادة الغطاء (Characteristics of the Glazing Material)

يتضح من مراجعة الأجزاء المختلفة للاتزان الحراري الموضحة في الشكل رقم (١ ,١١) والمعادلة رقم (١ ,١١) أن خصائص مادة الغطاء مهمة للغاية. ومن بين تلك الخصائص المهمة : نفاذية مادة الغطاء للإشعاع الشمسي والنفاذية للإشعاع الحراري ومعامل النقل الحراري الكلي (قيمة U).

نفاذية الإشعاع الشمسي (Transmission of Solar Radiation): لابد وأن تكون مادة الغطاء ذات نسبة نفاذية عالية للطاقة الشمسية في الشتاء عندما يكون الضوء غالبًا العامل المحدد لنمو النبات. وأحيانًا يتم تغطية أجزاء من البيت المحمي في الصيف عند ازدياد الطاقة الشمسية عن الحد المرغوب؛ ولكن نادراً ماتستخدم تلك الأغطية في الأيام المضيئة في فصول الربيع والخريف والشتاء. وتمثل الطاقة الشمسية النافذة إلى داخل البيت المحمي- سواء استخدمت أغطية أو لم تستخدم - حمْل التدفئة الرئيسي والذي لابد من إزالته بهواء التهوية. ويبين الجدول رقم (٣ ,١١)[١٧] معامل النفاذية لأنواع مختارة من الأغطية المستخدمة في البيوت المحمية. ويعتبر معامل النفاذية - كما هو واضح من الجدول - مرتفعًا نسبيًا لمعظم أنواع الأغطية الشائعة.

وتعكس تلك القيم معاملات النفاذية الكلية للطاقة الشمسية سواء المباشرة أو غير المباشرة. وقد يكون لزاوية سقوط الأشعة بالنسبة للطاقة الشمسية المباشرة تأثير واضح على النفاذية، ومن ثم التأثير على كمية ضوء الشمس الداخل إلى البيت المحمي[١]. ويعتبر هذا التأثير جوهريًا- كما هو واضح من الشكل رقم (٢ ,١١) - عندما تكون زاوية السقوط أكبر من ٦٠ درجة. وبالرغم من ذلك، فإنه يمكن- من وجهة نظر تحليل متطلبات التهوية- تقدير الطاقة الشمسية الداخلة إلى البيت المحمي باستخدام قيم معامل النفاذية في الجدول رقم (٣ ,١١).



شكل (١١,٢). معامل إمرار الإشعاع الشمسي خلال مواد أغطية مختلفة عند زوايا سقوط متعددة.

نفاذية الإشعاع الحراري (Transmission of Thermal Radiation)

يمكن أن تكون الأشعة المتبادلة بين كل من أرضية البيت المحمي ومادة النبات والطاولات مع طبقات الجو العليا ذات تأثير جوهري. ويوضح الجدول رقم (١١,٣) أيضًا معامل نفاذية المواد للإشعاع الحراري. ويمكن أن يقلل تكثف بخار الماء على مادة الغطاء من معامل النفاذية. ولكن يجب مراعاة أن التكثيف قد يتكون أو لايتكون بكميات قليلة في الأجواء الدافئة ومع استخدام التهوية. ويعتبر معامل النفاذية للإشعاع الحراري منخفضًا نسبيًا - كما هو واضح من الجدول- لمعظم المواد باستثناء مادة البولي إيثيلين.

معامل انتقال الحرارة بالتوصيل (Conduction Heat Transfer Coefficient)

يمكن الحصول على قيمة معامل النقل الحراري الكلي (U) والمستخدمة في حساب كل من الحرارة المفقودة والمكتسبة من خلال جدران البيت المحمي عن طريق

إيجاد معاملات النقل الحراري من المراجع العلمية المختلفة. وعامة تكون القيم المتحصل عليها من هذه المصادر أقل من القيم الشائعة والموضحة في الجدول رقم (٤ , ١١) والمستخدمة في إيجاد متطلبات تدفئة البيت المحمي[١٣]. وتتضمن هذه القيم أيضًا المعامل الخاص بتبادل الإشعاع الحراري بحيث يسمح بحساب ليس فقط الحرارة المفقودة بالتوصيل، بل أيضًا الحرارة المفقودة نتيجة الإشعاع الحراري المباشر. وبالرغم من أن قيم هذا الجدول تتيح تقديرات جيدة لكمية الطاقة المطلوبة، إلا أن تلك التقديرات قد تكون أكثر دقة عند معاملة كل جزء على حدة. وتعتبر قيم تلك المعاملات والمدونة في الجدول رقم (٤ , ١١) صالحة فقط مع المواد ذات معاملات النفاذية المرتفعة، ولايمكن استخدامها عند تقييم كمية الحرارة المفقودة من خلال الحوائط الصلبة أو الأساسات.

جدول (٤ , ١١). معاملات انتقال حرارة تقريبية لمواد أغطية البيوت المحمية

غطاء البيت المحمي	قيمة U واط/ (م٢ . °م)
طبقة زجاج (محكم)	٦,٣
طبقة بلاستيك	٦,٨
طبقة من الألياف الزجاجية	٦,٨
طبقة مزدوجة من البلاستيك والبولي إيثيلين	٤
طبقة مزدوجة من الحرير الصناعي المقسي	٣
طبقة مزدوجة من الزجاج (محكم)	٣
طبقة مزدوجة من البلاستيك فوق الزجاج	٣
طبقة زجاج مع بطانة حرارية	٣
طبقة بلاستيك مزدوجة مع بطانة حرارية	٢,٥

وقد تم عند إيجاد تلك القيم فرض أن سرعة الرياح خارج البيت المحمي ١٢ (كم/ ساعة)، وأن الهواء داخل البيت المحمي في حالة سكون. ويعتبر الفرض الخاص بسكون الهواء داخل البيت المحمي غير ملائم إذا وجدت عملية تقليب إيجابية للهواء لمنع التراكم الطبقي لكل من الحرارة والرطوبة. ولكن في الغالب ما

تكون سرعة الهواء الموصى بها منخفضة نسبيًا (عادةً أقل من ١,٦ كم/ساعة)؛ وعلى ذلك، فيمكن إهمال أي خطأ لصغره. وبالمثل، قد تؤدي أي سرعة للرياح أعلى (أو أقل) من ١٢ (كم/ساعة) إلى تقييم أكبر (أوأقل) من القيمة الفعلية لمعامل النقل الحراري الخارجي اعتماداً على سرعة الرياح الفعلية. وقد اعتبرت قيم هذا الجدول عامةً ملائمة لتصميم نظم التهوية.

شدة الإشعاع الشمسي (Solar Radiation Intensity)

يعتبر الإشعاع الشمسي المصدر الرئيسي للحرارة الداخلة والذي يجب التخلص من الزائد منه بالتهوية. وتتغيّر شدة هذا المصدر الحراري أثناء النهار بارتفاع الشمس وزيادة زاوية الارتفاع الشمسي عن سطح الأرض. وتعتبر المعرفة الدقيقة لكمية الطاقة الشمسية الساقطة على البيت المحمي ضرورة عند التقدير الدقيق لمعدل التهوية المطلوب. وتساعد المعلومات المتوافرة في (ASHRAE Guide and Data Book, Fundamental[16]) على سهولة إجراء تلك الحسابات.

وتقع أقصى كمية طاقة شمسية عند فترة الظهيرة، وعليه فإن تقييم معدل التهوية المطلوب يكون في الغالب عند هذا الوقت. ويبين الجدول رقم (١) في الملحق (أ) قيم زاوية ارتفاع الشمس عند الظهر للأيام ٢١ يونيو و٢١ سبتمبر و٢١ مارس بالنسبة للمناطق المختارة. ويمكن حساب شدة الإشعاع الشمسي على سطح أفقي باستخدام تلك القيم ومن المعادلة التالية[١٦].

$$I = (C + \sin \beta)\, A\, e^{-B/\sin \beta} \qquad (١١,١٥)$$

حيث:

A و B و C ثوابت تحدد من الجدول رقم (١١,٥)

β = زاوية الارتفاع الشمسي.

جدول (١١,٥). ثوابت حساب شدة الإشعاع الشمسي

التاريخ	A واط/م٢	B	C
		(نسب بدون وحدات)	
٢١ يناير	١٢٣٠	٠,١٤٢	٠,٠٥٨
٢١ فبراير	١٢١٤	٠,١٤٤	٠,٠٦
٢١ مارس	١١٨٥	٠,١٥٦	٠,٠٧١
٢١ إبريل	١١٣٥	٠,١٨٠	٠,٠٩٧
٢١ مايو	١١٠٣	٠,١٩٦	٠,١٢١
٢١ يونيو	١٠٨٨	٠,٢٠٥	٠,١٣٤
٢١ يوليو	١٠٨٥	٠,٢٠٧	٠,١٣٦
٢١ أغسطس	١١٠٧	٠,٢٠١	٠,١٢٢
٢١ سبتمبر	١١٥١	٠,١٧٧	٠,٠٩٢
٢١ أكتوبر	١١٩٢	٠,١٦٠	٠,٧٣
٢١ نوفمبر	١٢٢٠	٠,١٤٩	٠,٠٦٣
٢١ ديسمبر	١٢٣٣	٠,١٤٢	٠,٠٥٧

تطبيقات نموذجية

(REPRESENTATIVE CALCULATIONS)

يمكن باستخدام معادلة الاتزان الحراري رقم (٩ , ١١) أو المعادلة رقم (١٠ , ١١) ومعادلة الاتزان الرطوبي (الكتلي) رقم (١٢ , ١١) داخل البيت المحمي حساب معدلات التهوية الضرورية للحصول على ظروف محددة. فيمكن دراسة تأثير تغيّرات درجات الحرارة والرطوبة أو المواد المستخدمة على منشأة محددة، وكذلك يمكن أيضًا دراسة تأثير أساليب الزراعة والظروف التصميمية وكمية الحرارة الداخلة ومعدل التهوية. وسوف نستعرض في الفقرات التالية الحسابات التي لابد من إجرائها للحصول على تلك التقديرات.

منحنيات التهوية الصيفية للبيوت المحمية

(Summer Ventilation Curves for Greenhouses)

يمكن إيجاد العلاقة بين معدلات متعددة من التبادل الهوائي ودرجة الحرارة الداخلية عن طريق تطبيق المعادلة رقم (١٠ , ١١) على بيت محمي نموذجي الشكل، مع فرض ظروف بيئية وجوية مختلفة. ويعتمد اختيار معدل التهوية الصيفية على نوع محدد من التحليلات؛ نظراً لتأثر نمو النبات بدرجات الحرارة داخل البيت المحمي بمعدل أكبر من تأثره بالرطوبات النسبية المنخفضة. وقد تساوي كمية الحرارة المضافة من الدفايات (Qf) بالنسبة لتلك التحليلات صفراً، كما يمكن في حالة التهوية فرض أن كمية الهواء المتسربة من البيت المحمي تساوي أيضًا صفراً. ونظراً لأن درجة الحرارة الداخلية قد تكون أعلى من درجة الحرارة الخارجية في يوم صيفي- عندما يعمل الإشعاع الشمسي على إضافة حرارة إلى البيت المحمي- فإن التبادل الحراري بالتوصيل يكون حالة فقد للحرارة، أي أن السريان الحراري يكون إلى خارج البيت المحمي.

مثال رقم ١.

احسب الزيادة في درجة حرارة الهواء في يونيو ٢١ داخل بيت محمي يقع في مدينة أطلانطا، بولاية چورچيا عند معدلات تهوية مختارة. افترض أن البيت المحمي مغطى بطبقة واحدة ثم طبقتين من مادة البولي إيثيلين البلاستيكية، وأن مساحة الأرضية ١٢٠٠ م٢ والمساحة السطحية لمادة الغطاء ١٨٠٠ م٢، وأن الارتفاع المتوسط للبيت ٣ م. افترض أن البيت ممتليء بالنباتات (أي أن نسبة الامتلاء ١٠٠٪)، وأن نظام التهوية المستخدم من النوع الضاغط (أي تقوم المروحة بسحب الهواء الخارجي إلى الداخل).

الحل.

يمكن كتابة المعادلة رقم (١٠ , ١١) بناءً على تلك المعلومات كالآتي:

$$(1-E)(\tau)(I)A_f = (Ti - To)(UA + (V/v)Cp) \qquad (١١ , ١٦)$$

ونجد من الجدول رقم (١) في الملحق (أ) أن:

To = ٣٥ °م و Twb = ٢٤ °م، ومن الخريطة السيكرومترية v =٠,٨٨٨ م٣/ كجم.

U = ٦,٣ واط/ (م٢ . ْم) في حالة استخدام طبقة واحدة من مادة البولي إيثيلين .
Cp = ١,٠ ك . چول/ (كجم . ْم) .
F = ١,٠ (نسبة امتلاء بالنباتات ١٠٠٪)
E = ٠,٥ (فرض)
τ = ٠,٨٨ (طبقة واحدة)
= ٠,٧٩ (طبقتان).

ونجد بتطبيق المعادلة رقم (١٥ , ١١) للحصول على شدة الإشعاع الشمسي أن :

$$I = (0.134 + \sin 79.8)1088\ e^{-0.205/\sin 79.8} = 0.988\ kW/m^2$$

ونجد أن معدل التهوية واحد (تغيّر هوائي/ دقيقة) يعادل ٣٦٠٠ (م٣/ دقيقة)؛ نظراً لأن حجم البيت المحمي ١٢٠٠×٣=٣٦٠٠ م٣ .

ونجد بالتعويض في المعادلة رقم (١٦ , ١١) أن :

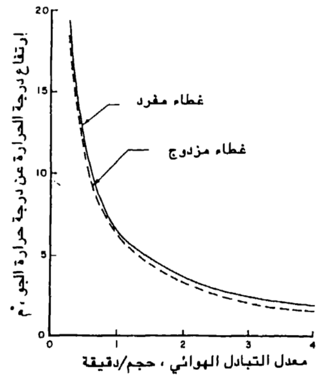
$$(1 - 0.5)(0.88)(0.988)(1200) = \Delta T\ [(6.3)(1800)/1000 + (3600)(1)/((60)(0.888))]$$

$$\Delta T = 6.6\ ^{o}C$$

ويمكن الحصول على الجدول التالي بتطبيق معدلات أخرى للتهوية في حالة ما إذا كان غطاء البيت المحمي مفرد أو مزدوج .

	معدل تغيّر الهواء				
	١\٤	١\٢	١	٢	٤
غطاء مفرد	١٨,٥	١١,٦	٦,٦ ْم	٣,٦	١,٩
غطاء مزدوج	١٩,٤	١١,٤	٦,٢	٣,٣	١,٧

ويوضح الشكل رقم (٣, ١١) النتائج المتحصل عليها. وقد أعطيت أيضًا درجة الحرارة الفعلية الداخلية المتنبأ بها بالإضافة إلى رسم فرق درجات الحرارة . ويوضح هذا الشكل أن إمكانية حدوث ارتفاع في درجات الحرارة الداخلية- عند معدلات تهوية منخفضة- قد تصل إلى ٥٣ ْم (ارتفاع مقداره ٢٠ ْم عن درجة حرارة الجو) . وقد تكون درجات الحرارة الداخلية المتنبأ بها لمناطق أخرى مختلفة تمامًا عن ما هو موضح في الشكل رقم (٣, ١١). ويرجع السبب في ذلك إلى اختلاف شدة



شكل (١١,٣). ارتفاع درجة الحرارة في بيت محمي مغطى بطبقة واحدة أو طبقتين كدالة في معدل التبادل الهوائي.

الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الصيف التصميمية من منطقة إلى أخرى. ولكن قد تكون الاختلافات في ارتفاع درجة الحرارة عن درجة حرارة الجو من منطقة إلى أخرى طفيفة.

وتوضح المنحنيات وجود فروق طفيفة بين البيوت التي تستخدم طبقة واحدة من غطاء مادة البولي إيثيلين أو طبقتين. و ينتج عن معامل النفاذية المرتفع للطاقة الشمسية خلال كل أنواع الأغطية الشائعة الاستخدام حمل تهوية مرتفع في كل البيوت المحمية. ويؤدي خفض معدل التبادل الهوائي إلى أقل قليلاً من ٤\٣ (تغيّر حجمي في الدقيقة) إلى زيادة نسبية حادة في ارتفاع درجة الحرارة داخل البيت المحمي. كما ينتج عن زيادة سعة التهوية عن واحد (تغيّر هوائي في الدقيقة) انخفاض بسيط في ارتفاع درجة الحرارة. وتكون سعة التهوية المرغوبة – في هذا المثال بالنسبة لطبقة أو طبقتين من غطاء البيت المحمي في حالة الإنتاج الكامل – بين ٤\٣ و ١,٠ (تغيّر هوائي في الدقيقة).

ويكون الهواء الداخلي في حالة استخدام مراوح من النوع الطارد هو الهواء المدفوع بواسطة المراوح بدلاً من الهواء الخارجي، وذلك كما هو أكثر شيوعًا في نظم التهوية في البيوت المحمية. ويكون الحجم النوعي للهواء في تلك الحالة هو الحجم المرتبط بالظروف الداخلية، ولكن قد لا يكون ذلك معلومًا؛ نظرًا لأن المطلوب في هذه المسألة التنبؤ بدرجة الحرارة الداخلية. ويتطلب الحل الصحيح لهذا الشرط استخدام أحد الطرق التقريبية الفعّالة، بمعنى أن يتم فرض قيمة محددة للحجم النوعي للهواء ثم تُحسب على أساسه درجة الحرارة الداخلية. ولابد- للحصول على قيمة صحيحة للحجم النوعي- من حساب الزيادة في نسبة الرطوبة باستخدام المعادلة رقم (١٢, ١١).

$$W_{ve} = (V/v)(W_i - W_o)$$

و بفرض قيمة للحجم النوعي v= ٠,٨٨٨ (م٣/ كجم) كما في الحسابات السابقة، كما نجد من الخريطة السيكرومترية أن Wo = ٠,٠١٥٣ (كجم/ كجم). وتساوي كمية بخار الماء المتولدة داخل البيت المحمي كمية بخار الماء المتولدة من عملية النتح والمعرّفة بالوحدات الحرارية في المعادلة رقم (٧, ١١). وينتج عن قسمة هذه المعادلة على الحرارة الكامنة للتبخير(λ) كمية الرطوبة المضافة إلى الهواء داخل البيت المحمي بوحدات كجم/ ث.

$$W_p = W_{ve} = (E)(F)(Q_l)/\lambda \quad (١١, ١٧)$$

$$= (E)(F)(\tau)(I)(A_f)/\lambda$$

$$= (0.5)(1)(0.88)(0.988)(1200)/2423$$

$$= 0.215 \text{ kg/s}$$

ونجد عند استخدام المعادلة رقم (١٢, ١١) أن:

$$0.215 = [3600/(60*0.888)](W_i - 0.0153)$$

$$W_i = 0.0185 \text{ kg/kg}$$

ونجد بناءً على هذه القيم المتنبأ بها بالنسبة للظروف الداخلية أن:

$$T_i = 33 + 6.6 = 39.6\ ^oC \quad \text{and} \quad W_i = 0.0185 \text{ kg/kg}$$

ويكون الحجم النوعي من الخريطة السيكرومترية v = ٠,٩١٣ (م٣/ كجم). وينتج عن إعادة حسابات (ΔT) باستخدام القيمة الجديدة للحجم النوعي:

$$\Delta T = 6.8\ ^{o}C$$

$$Error = 6.8 - 6.6 = 0.2\ ^{o}C$$

ونظرًا لصغر قيمة الخطأ، فإنه عادة مايستخدم الحجم النوعي المرتبط بالظروف التصميمية الخارجية مع كل من نظم التهوية الموجبة والسالبة. كذلك أوضحت الحسابات أن عملية النتح قد أدت إلى زيادة الرطوبة المطلقة للهواء من ٠,٠١٥٣ إلى ٠,٠١٨٥ (كجم ماء/ كجم هواء جاف)، وأن الرطوبة النسبية الداخلية المتنبأ بها بواسطة الخريطة السيكرومترية كانت ٤٠٪.

تأثير نسبة الامتلاء بالنباتات (Effect of Level of Cropping).

تؤثر نسبة امتلاء البيت المحمي بالنباتات على كمية الطاقة الشمسية المستخدمة في عملية النتح. ويعني ارتفاع معدل النتح زيادة نسبة الحرارة التي استخدمت في تبخير الماء أوالحرارة الكامنة للتبخير، وبالتالي انخفاض نسبة الحرارة المحسوسة المكتسبة والتي تعمل على رفع درجة الحرارة الداخلية. وينعكس هذا التأثير بوضوح على العلاقة الخاصة بالاتزان الحراري، أي المعادلة رقم (١٠ , ١١) مع الجزء (F) الذي يمثل نسبة مساحة الأرضية المزروعة بالنباتات.

مثال رقم ٢.

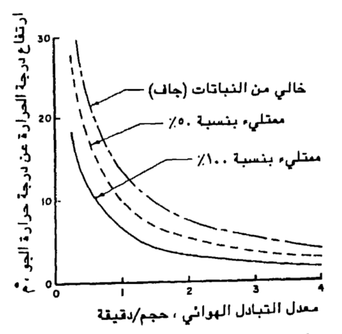
احسب تأثير نسب امتلاء البيت المحمي بالنباتات (١٠٠٪ و٥٠٪ وصفر٪) على ارتفاع درجة الحرارة الداخلية، علما بأن كل المعلومات الخاصة بالبيت المحمي تتبع نفس المعلومات في المثال السابق.

الحل.

معادلة الاتزان الحراري لهذا المثال هي :

$$[\ 1 - (E)(F)](\tau)(I)(A_f) = (Ti - To)[UA + (V/\nu)\ Cp]$$

ونجد- عند التعويض بقيم (F) تساوي ١,٠ (امتلاء كل الأرضية بالنباتات) و ٠,٥ (امتلاء نصف الأرضية بالنباتات) وصفراً (لاتوجد نباتات داخل البيت، أي أن قيمة النتح صفرًا)- أن الطرف الأيسر من المعادلة يزداد عند نسبة امتلاء ٥٠٪ بمعدل مرة ونصف مرة القيمة في حالة الامتلاء الكامل(١٠٠٪)، كما يزداد الطرف الأيسر عند



شكل (١١,٤). تأثير نسبة الامتلاء بالنباتات على ارتفاع درجة الحرارة في بيت محمي مهوي.

خلو البيت من النباتات (صفر٪) إلى ضعف القيمة الخاصة في حالة الامتلاء الكامل (١٠٠٪). ويمكن توضيح هذه النتائج كما في الشكل رقم (١١,٤).

فكما هو واضح، يؤدي انخفاض نسبة امتلاء البيت المحمي بالنباتات إلى ارتفاع درجة الحرارة المتنبأ بها. فترتفع درجة الحرارة - على سبيل المثال - مع معدل تبادل للهواء واحد (تغيّر هوائي في الدقيقة) إلى ٦,٦ و٩,٩ و١٣,٢°م في حالة ما إذا كانت نسب الامتلاء بالنباتات ١٠٠٪ و٥٠٪ وصفر٪ على الترتيب، وذلك بفرض جفاف التربة. ويتضح من ذلك تأثير عملية النتح على التبريد أو خفض درجة الحرارة داخل البيت المحمي.

تأثير خفض شدة الإشعاع الشمسي

(Effect of Reducing the Solar Intensity)

يمكن خفض مستوى أشعة الشمس الساقطة على البيت المحمي باستخدام أغطية توضع على جدران وسقف البيت أو باستخدام أغطية مصنوعة من مواد

مسامية تعمل على تقليل نفاذية الأشعة. وتتغيّر شدة الإشعاع أيضًا بتدخل ظروف الجو الطبيعية وتغيّر وضع الشمس. وبصرف النظر عن السبب في خفض شدة الإشعاع الشمسي الداخل إلى البيت المحمي، فإن النتيجة النهائية تكون خفض درجة الحرارة الداخلية، وبناءً عليه خفض معدل التهوية المطلوب عند مستوى تحكم معين في درجة الحرارة.

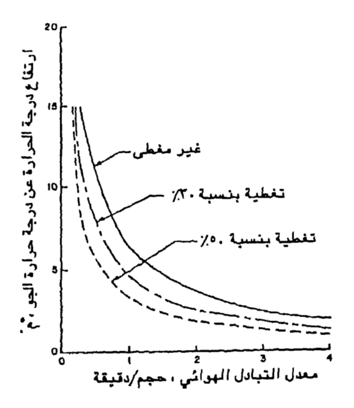
مثال رقم ٣.

احسب تأثير استعمال أغطية تعمل على تقليل نفاذية الإشعاع الشمسي بنسبة ٧٠ و٥٠٪. افترض أن البيت المحمي مغطى بطبقة واحدة، وأن الظروف التصميمية له تكون نفس الظروف الخاصة بالبيت المحمي في المثال رقم ١.

الحل

يتم في هذه المسألة استخدام نفس المعادلة التي استخدمت في المثال رقم ١. وتكون كل أجزاء المعادلة مثل تلك التي استخدمت في المثال رقم ١ باستثناء معامل النفاذية (τ) الذي يتم تخفيض قيمته الأصلية إلى ٠,٧ و٠,٣، بالنسبة لمستويي التظليل على الترتيب. وتكون النتيجة انخفاضًا نسبيًا مباشرًا في ارتفاع درجة الحرارة عند كل مستوى من مستويات سريان الهواء. ويوضح الشكل رقم (١١,٥) نتائج استخدام أغطية التظليل.

وكما هو واضح من الشكل، فقد انخفض المستوى المطلوب من سريان الهواء- بالنسبة للتحكم الفعّال في درجة الحرارة- من المدى ٣\٤ إلى ١,٠ (تغيّر هوائي في الدقيقة) بالنسبة للبيت المحمي غير المغطى إلى المدى حوالي من ١\٢ إلى ٣\٤ (تغيّر هوائي/ دقيقة) في حالة التغطية بنسبة ٥٠٪. كما انخفض أيضًا معدل الارتفاع في درجة الحرارة عند مستوى تهوية ثابت ١,٠ (تغيّر هوائي/ دقيقة) من ٦,٦ إلى ٣,٣ °م.



شكل (١١,٥). تأثير شدة الإشعاع الشمسي على ارتفاع درجة الحرارة في بيت محمي مهوى.

خفض درجات حرارة الهواء بالتبريد التبخيري

(Reducing of Air Temperatures by Evaporative Cooling)

قد تحتاج البيوت المحمية في الأمثلة أرقام (١) و(٢) و(٣) إلى نظام تبريد تبخيري إذا كان يصعب احتمال درجات الحرارة المرتفعة المتنبأ بها. وقد يكون لنظم التصميم النموذجية والمقبولة عمليًا القدرة على تبريد الهواء الداخل بكفاءة ٨٥٪، أي تبريد ٨٥٪ من الفرق بين درجات الحرارة الجافة والرطبة للهواء. ويجب أن يكون المبرد التبخيري- لمنطقة مثل مدينة أطلانطا بولاية چورچيا حيث درجات الحرارة التصميمية الجافة والرطبة من الجدول رقم (١) في الملحق (أ) ٣٣ و٢٤ °م على الترتيب - قادراً على تبريد هواء التهوية الداخلي بمقدار ٧,٦ °م أو إلى ٢٥,٤ °م. وتكون الرطوبة النسبية للهواء الخارج من المبرد أو من وسائد التبريد حوالي

٩٠٪.

مثال رقم ٤.

احسب التحسن في درجات الحرارة الداخلية لبيت محمي مهوي عندما يتم تبريد الهواء الداخلي تبخيريًا. افترض أن البيت المحمي مغطى بطبقة واحدة، وأن الظروف التصميمية مثل تلك التي في المثال رقم (١).

الحل

لابد في هذه المسألة من فصل درجة الحرارة المرتبطة بالحرارة المفقودة بالتوصيل عن درجة الحرارة المرتبطة بالحرارة المفقودة بالتهوية؛ وتصبح المعادلة رقم (١٠ , ١١) في هذه الحالة كالآتي:

$$(1-E)(\tau)(I)A_f = UA(Ti - To) + (V/v)(Cp)(Ti - T^{\wedge}o) \quad (١١ , ١٩)$$

حيث:

$T^{\wedge}o$: درجة حرارة الهواء الخارج من المبرد التبخيري.

وتكون في هذه المسألة To = ٣٣ °م وT^o = ٢٥ , ٤ °م، كما تبقى بقية العناصر ثابتة كما تم تحديدها من قبل.

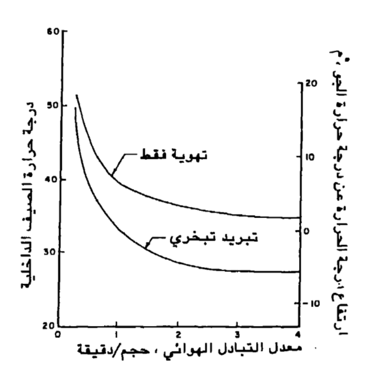
$$(1 - 0.5)(0.88)(0.988)(1200) = [6.3(1800)(Ti - 33)/1000] + [(3600)(1.0)/(60(0.888))](Ti - 25.4)$$

$$Ti = 33.1\ ^{o}C$$

وينتج من تكرار الحسابات مع معدلات تهوية أخرى مختارة درجات الحرارة التالية:

	تغيّرات هوائية/ دقيقة				
	١\٤	١\٢	١	٢	٤
تهوية فقط	٥١,٥	٤٤,٦	٣٩,٦	٣٦,٦	٣٤,٩
تبريد تبخيري	٤٩,٩	٣٩,٦	٣٣,١	٢٨,٢	٢٧,٤

ويوضح الشكل رقم (١١,٦) النتائج بيانيًا. وقد نتج عن استخدام التبريد التبخيري انخفاض في درجة الحرارة الداخلية المتنبأ بها من ٣٩,٦ إلى ٣٣,١ °م عندما كان معدل التهوية المستخدم واحدًا (تغيّرهوائي في الدقيقة). وقد كانت درجة الحرارة الداخلية عند استخدام التبريد التبخيري مطابقة تقريبًا لدرجة حرارة الجو الخارجية التصميمية، ٣٣ °م. ويمكن حفظ درجة الحرارة الداخلية- عند استخدام معدلات سريان هواء مرتفعة- عند قيم أقل من درجة الحرارة الخارجية. وقد ينخفض العجز أيضًا في ضغط بخار الماء في البيوت المحمية؛ نظرًا لتولد نسبة رطوبة مرتفعة من جراء استخدام التبريد التبخيري، وعليه ينخفض الإجهاد المائي على النبات.



شكل (١١,٦). الانخفاض في درجات الحرارة في بيت محمي مهوى نتيجة استخدام التبريد التبخيري.

متطلبات التهوية في الخريف أو الربيع

(Ventilation Requirement in Fall or Spring)

تنخفض معدلات التهوية في فصل الخريف أو الربيع نتيجة انخفاض درجة حرارة الهواء الخارجية إلى أقل من درجة الحرارة المرغوبة داخل البيت المحمي. وترجع عملية خفض معدل التهوية إلى عدة أسباب. أولاً: انخفاض شدة الإشعاع الشمسي. ثانيًا: زيادة كمية الحرارة المفقودة بالتوصيل من مادة الغطاء، وعليه تنخفض كمية الحرارة المطلوب سحبها إلى الخارج. وأخيراً، زيادة كمية الحرارة المسحوبة مع وحدة الحجوم من هواء التهوية نتيجة انخفاض درجة حرارة الجو الخارجي. ويمكن عند تحليل هذه المشكلة إيجاد شدة الإشعاع الشمسي في يوم ملائم من أيام الربيع أو الخريف أو الشتاء، ثم حساب معدل التهوية المطلوب لدرجات حرارة خارجية متغيّرة.

مثال رقم ٥.

احسب معدل التهوية المطلوب في يوم صحو في منتصف ديسمبر لبيت محمي مغطى بطبقة واحدة ثم طبقتين من مادة البولي إيثيلين. افترض أن البيت المحمي له نفس المواصفات كما في المثال رقم (١)، وأن درجة الحرارة الداخلية المرغوبة ٢٠ °م.

الحل.

يمكن في هذا المثال تطبيق نفس المعادلة التي استخدمت في المثال رقم (١).

$$(1 - E)(\tau)(I)(A_f) = (Ti - To)[UA + (V/\nu)Cp]$$

نفرض أن الرطوبة النسبية الداخلية ٧٠٪، وأن الحجم النوعي ν = ٠,٨٤٤ وقد تم في هذا المثال تحديد الأجزاء الأخرى للمعادلة- كما في المثال رقم (١) - باستثناء شدة الإشعاع الشمسي الذي يمكن حسابه كالآتي:

$$I = (0.057 + \sin 32.8)(1.233)\, e^{-0.142/\sin 32.8}$$

$$= 0.568 \text{ kW/m}^2$$

ويمكن حساب درجة حرارة الجو الخارجي بالنسبة لطبقة غطاء واحدة ومعدل تهوية ١,٠ (تغيّرهوائي في الدقيقة) كالآتي:

$$(1\text{-}0.5)(0.88)(0.568)(1200) = (20\text{-}T_o)[6.3(1800)/1000 + 3600(1.0)/(60(0.844))]$$

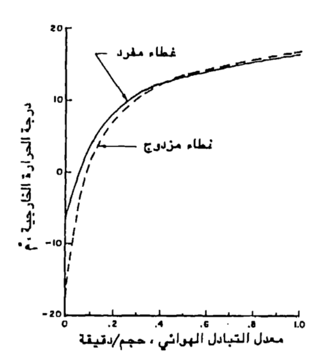
$$To = 16.4\ ^oC$$

وبالمثل نجد بالنسبة لمعدلات التهوية الأخرى أن :

	تغيّرات هوائية/ دقيقة				
	صفر	١\٨	١\٤	١\٢	١
طبقة واحدة	-٦,٤	٥,٢	٩,٧	١٣,٦	١٦,٤
طبقتان	-١٧,٤	٣,٢	٩,٢	١٣,٧	١٦,٦

ويوضح الشكل رقم (٧, ١١) النتائج المتحصّل عليها بيانيًا. ويتضح من الشكل أن معدل التهوية يتناقص سريعًا بانخفاض درجة الحرارة. ويكون البيت المحمي بالنسبة للظروف المقترحة في حالة اتزان حراري عند معدل تهوية صفر ودرجة حرارة خارجية - ٦ ْم بالنسبة لغطاء مكون من طبقة واحدة، و-١٧ ْ م بالنسبة لغطاء مكون من طبقتين.

وقد تم في هذا التحليل فرض معدل تسرب صفر، بينما قد يحدث بعض التسرب الفعلي في بعض التطبيقات. ويمكن إيجاد نقطة التوازن الحراري في حالة فرض معدل تسرب للهواء يعادل أقل معدل تهوية ممكنة. ويكون أقل معدل تبادل هوائي ٠٢٥, ٠ في الدقيقة إذا فرض- على سبيل المثال - معدل تسرب للهواء ٥, ١ مرة لكل بيت محمي مغطى بطبقة واحدة. ويوضح الشكل رقم (٧, ١١) أن التوازن الحراري قد يحدث بالنسبة لهذا الشرط عند درجة حرارة خارجية - ٢ ْم. وقد لا تستطيع الطاقة الشمسية الداخلة إلى البيت المحمي المحافظة على درجة الحرارة الداخلية المرغوبة إذا كانت درجة حرارة الجو أقل من ذلك المستوى. ولابد في تلك الحالة من توفير حرارة إضافية عن طريق استخدام أي نظام من نظم التدفئة. ويوضح هذا التحليل أنه قد يتطلب الأمر حتى في الأيام الصافية الباردة في منتصف الشتاء استخدام التهوية للتخلص من الطاقة الشمسية الزائدة.



شكل (١١,٧). متطلبات التهوية الشتوية لبيوت محمية مغطاة بطبقة أو بطبقتين.

الخلاصة

(SUMMARY)

تعتبر الأيام التي يمكن استخدام التهوية الطبيعية سواء للتدفئة أو التبريد إلى المستويات المثلى لنمو النبات قليلة للغاية. وقد تتغيّر متطلبات بيئة البيت المحمي في يوم شتوي ملبّد بالغيوم في جزء منه من التدفئة إلى التبريد خلال دقائق. وقد يؤدي ذلك إلى تعقيد استخدام خصائص التبريد والتهوية والتدفئة عند دراسة معادلات اتزان حرارة-كتلة باستخدام الحواسيب الآلية. وسوف تعتمد نتائج خلاصة أي تحليل اعتماداً كبيراً على الاختيار الملائم للمتغيّرات الداخلة إلى الحاسوب الآلي.

وكقاعدة عامة، يوصى باستخدام معدلات تهوية بين ٤\٣ و ١,٠ (تغيّر هوائي في الدقيقة). وعادة ماتتيح تلك المعدلات توفير درجة حرارة مقبولة ومستوى جهد تبخيري ملائم للنبات في معظم أيام الصيف. ولكن يمكن الحصول على معلومات

تصميمية أكثر تفصيلاً عن طريق دراسة معادلات اتزان حرارة-كتلة. ويمكن استخدام المعادلات لتحليل الاستخدامات النظرية والتشغيلية بالنسبة للعديد من الأجواء المختلفة في العالم، خاصةً التصميمات الجديدة والمتضمنة استخدام المظلات المحمولة والمواد العازلة.

وقد يساعد فهم الخصائص الطبيعية لأي تصميم أو عملية تشغيل، من خلال دراسات اتزان كتلة-حرارة، المصمِّم أو المشرف على إدارة البيت المحمي على التنبؤ بنتائج التغيير. ويتأثر معدل التهوية المطلوب بالعديد من العوامل مثل شدة الإشعاع ونوع مادة الغطاء ومعامل الإمرار الشمسي ونسبة امتلاء البيت المحمي بالنباتات ودرجة حرارة الجو. ويجب أن تسمح الخطوط العريضة للتحليلات في هذا الفصل بتقدير درجة الحرارة والرطوبة في بيت محمي تحت أي ظروف محددة. وسوف تسمح التحليلات أيضًا بالتنبؤ بالتغيّرات التي تحدث في البيت المحمي مع تغيّر تلك الظروف في المدى المستخدم.

المراجع

1 ASHRAE Guide and Data Book Applications. 1978. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineer, New York.

2 Duncan, G. A., O. J. Loewer and D. G. Colliver. 1976. Simulation of solar energy availability, utilization and storage in greenhouse. ASAE Paper No. 76-4010, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

3 Seginer, I. and N. Vevav. Models as tools in greenhouse climate design Technion-Israel Institute of Technology Agricultural Engineering Station Publication No. 115, Haifa, Israel, February, p. 80.

4 Takakura, T., K. A. Jorson and L. L. Boyd. 1971. Dynamic simulation of plant growth and environment in the greenhouse. TRANSACTIONS of the ASAE 14(5):965-971.

5 Walker, J. N. 1965. Predicting temperatures in ventilated greenhouses. TRANSACTIONS of the ASAE 8(3):445-448.

6 Meyer, R. S. and D. B. Anderson. 1952. Plant physiology (2nd edition) Van Nostrand.

7 Walker, J. N. and G. A. Duncan. 1978. Engineering considerations of energy problems in protected cultivation. Acta Horticultura, International Society for Horticultural Science 76:67-76.

8 Energy Conservation and Solar Heating for Greenhouses. 1978. Northeast Regional Agricultural Engineering Service.

9 Roller, W. L. and D. L. Elwell. 1981. Greenhouse soil heating for improved production and energy conservation. Electric Power Research Institute, Final Report EPRI EA-2022, Sept.

10 Morris, L. G., F. E. Neale and J. D. Postlethwaite. The transpiration of glasshouse crops and its relationshp to the incoming solar radiation. J. of Ag. Eng. Research 2(2):11-112.

11 Walker, J. N. and D. J. Cotter. 1968. Influence of structural features and plant growth on temperatures in greenhouse structures. International Symposium on Glasshouse Environment, Silsoe, England, Acta Horticultura, International Horticultural Society, 6, 26-46.

12 Van Wijk, W. R., et al. 1963. Physics of plant environment. Amsterdam: North-Holland Publishing Co.

13 American Society of Agricultural Engineers. 1981. Heating, ventilating, and cooling greenhouses. ASAE Engineering Practice: ASAE EP406.

14 Bliss, R. W. 1961. Atmospheric radiation near the surface of the ground: A summary for engineers. Journal of Solar Energy Science and Engineering, July-September 5(3):120.

15 Walker, J. N. and L. R. Walton. 1971. Effect of condensation of greenhouse heat requirements. TRANSACTIONS of the ASAE 14(2):282-284.

16 ASHRAE Guide and Data Book Fundamentals. 1981. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers. New York.

17 Bond, T. E., L. C. Godbey and H. F. Zornig. 1977. Solar, long wavelength, and photosynthetic energy transmission of greenhouse covering materials. Proceedings, A Conference on Solar Energy for Heating Greenhouses and Greenhouse-Residential Combinations, Cleveland and Wooster, Ohio, March 20-23, pp. 234-255.

18 Badger, P. C. and H. A. Poole. 1979. Conserving energy in Ohio greenhouses. Ohio Agricultural Research and Development Center Ext. Bul. 651, Nov.

19 Short, T. H., M. F. Brugger and W. L. Bauerle. 1980. Energy conservation for new and existing commercial greenhouses. Proc. of ASHRAE Symposium on Energy Management and Conservation in Greenhouses, Denver, CO, June 22-26.

الفصل الثاني عشر

نظم التهوية لمنشآت البيوت المحمية*

(VENTILATION SYSTEMS FOR GREENHOUSE STRUCTURES)

• أساسيات عامة للتجهيزات • نظم التهوية الطاردة
•نظم التهوية الضاغطة • نظم التهوية الطبيعية •تصميم نظام تهوية محدد

أساسيات عامة للتجهيزات

(GENERAL EQUIPMENT PRINCIPLES)

إن نظم التهوية المستخدمة في منشآت نمو النباتات - خاصةً البيوت المحمية- إما أن تكون تهوية طبيعية أو ميكانيكية. وقد استخدمت غالبًا التهوية الطبيعية في البيوت الزجاجية قبل توافر ميزة الأسعار المنخفضة للمراوح. فنجد أن نظم التهوية الطبيعية- سواء اليدوية أو التي تستخدم محركًا كهربائيًا مع ألواح تهوية مفصلية عند حافة المنشأة العلوية وأساس الأرضية- تسمح بحركة وتبادل الهواء بواسطة تيارات حمل الهواء في فترات الحر أو عن طريق حركة الهواء نتيجة انحدارات الضغوط المتولدة من الرياح على كل من الحائط الجانبي وسطح المبنى. وتعمل هذه الضغوط على إحداث فروق ضغط تؤدي إلى سريان الهواء.

وتستخدم مع التهوية الميكانيكية - والتي أصبحت واسعة الانتشار في منشآت

---

* دانكن جـ. أ. : جامعة كينتاكي - ليكسنجتون
بيري ر. ل. : جامعة روتجارس - نيوچيرسي
ووكر چـ. ن. : جامعة كينتاكي- ليكسنجتون

نمو النباتات حاليًا - كل من مراوح وفتحات تحكم في الهواء وحواجز هوائية. ويوضح الشكل رقم (١ , ١٢) النظام المستخدم. وتستخدم المراوح لتزويد سريان هواء مدفوع خلال المنشأة مع خلط وتقليب داخلي كاف لتوفير ظروف بيئية منتظمة التوزيع. ويتم التحكم النموذجي في معدل التهوية آليًا باستخدام ثرموستات ومراوح لديها سرعة مفردة مرحلية أو سرعتان لتزويد معدلات مختلفة من سريان الهواء على حسب درجة الحرارة أو أي عوامل أخرى يرجى التحكم فيها.

موضع تركيب وتشغيل تجهيزات التهوية

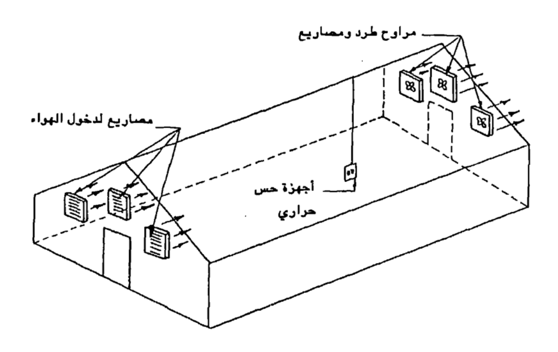
(Ventilation Equipment Location and Operation)

ينبغي عند الرغبة في الحصول على أعلى كفاءة أن يتم تركيب مراوح التهوية وفتحات التحكم في المبنى بحيث يكون سريان الهواء في نفس اتجاه هبوب الرياح الصيفية الخارجية. فتركب مراوح الطرد في حوائط المبنى الجانبية أو النهائية وغير المقابلة لاتجاه الرياح، بينما تركب فتحات دخول الهواء في الاتجاه المعاكس أو في الحائط الجانبي أو النهائي المقابل، والعكس بالعكس في حالة المراوح من النوع الضاغط.

أما إذا اضطرت الحاجة إلى تركيب المراوح عكس الاتجاه المشار إليه، فإنه يجب زيادة سعة المراوح بحوالي ١٠ ٪[١،٢]، كما يجب أن تكون محركات المراوح لها ضغط استاتيكي حوالي ٣,٢ مم ماء عند أي سرعات رياح متوقعة حتى ٢٥ (كم\ساعة) أو ٦,٤ مم ماء بالنسبة للرياح حتى سرعات ٤٣ (كم\ساعة).

و يجب أن تركب المراوح وفتحات دخول الهواء إلى البيت المحمي عند مستوى أعلى من ارتفاع النبات، وأن يتم توجيه الهواء إلى نظام خلط وتوزيع لتجنب انجراف الهواء مباشرةً إلى النبات، والتي قد تسبب ضعفًا في النمو نتيجة للتوزيع غير المتساوي لدرجات الحرارة وكذلك حالات التجفيف الزائدة. ولا تعتبر عملية اختيار ارتفاع مراوح ومصاريع الطرد من العوامل الحرجة[٣].

و يجب حماية الأجهزة لتوفير الأمان للعاملين و عدم التعرض للإصابة



شكل (١ ,١٢). نظام تهوية مبسط يحتوي على مراوح طرد ومصاريع مداخل هوائية

بواسطة الأجزاء المتحركة. ويجب ألا يُعاق عمل الأجهزة بواسطة أبواب أو نباتات أو حتى مبان قريبة في حدود من ٢ إلى ٣ م، أو أي عوائق أخرى يمكن أن تتداخل مع كفاءة حركةً الهواء. ويمكن حماية الأجهزة من الأمطار والتقلبات الجوية بواسطة أغطية أو مظلات عند الحاجة لمنع أي تداخل غير مرغوب فيه.

ويجب أن تركب أجهزة تنظيم درجات الحرارة (الثرموستات) والرطوبة أو أي أجهزة حس أخرى خاصة بالتهوية على مسافة ٣ م على الأقل من الحائط الخارجي، وبالقرب من مستوى نمو النبات بحيث يمكن حس ظروف نمو النبات الفعلية. ولابد من أن يتوافر بتلك الأجهزة محرك للهواء بعد عنصر الإحساس، وذلك إما بتقليب الهواء طبيعيًا خلال المنشأة أو بواسطة تركيب مروحة شفط. ويجب أن تُحجب أجهزة تنظيم درجة الحرارة عن أشعة الشمس المباشرة بواسطة مادة مصنوعة من الألومنيوم أو مادة ذات دهان أبيض، وذلك للحصول على عزل حراري مع وجود حيّز هوائي من ٣ ,٠ إلى ١ سم بين المادة المعلقة وأجهزة

الحس، أو عن طريق استخدام حاجز خشبي كعازل بسمك ١ إلى ٢ سم، وذلك لتجنب التأثيرات الحرارية المتولدة من الإشعاع الشمسي.

مراحل معدلات التهوية (Staging of Ventilation Rates)

بعد إيجاد معدل التهوية الكلي باستخدام الطرق الموضحة في الفصل ١١، فإنه لابد عند التخطيط لنظام التهوية من تقسيم هذا المعدل الكلي على مراحل. فغالبًا ما يحتاج إلى معدل تهوية منخفض في الجو البارد، وإلى معدلات تهوية مرتفعة في أيام الصيف الحارة. ويعتمد الرقم المحدد لتلك المراحل على الظروف الجوية وحجم المنشأة واقتصاديات استخدام تلك الأجهزة.

و يجب أن تمثل المرحلة الأولى (الأقل) نظريًا حوالي من ١٠ إلى ٢٥٪ من معدل التهوية الكلي لتسمح بالخلط الكاف للهواء البارد الداخل مع الهواء الداخلي الدافيء قبل تلامسه مع النباتات. وعادة ما تستخدم مروحة صغيرة ذات سرعتين بالنسبة للمنشآت الصغيرة ذات مساحة أرضية أقل تقريبًا من ١٠٠ م٢. وتزوّد المروحة- عند عملها على السرعة المنخفضة- المرحلة الأولى من التهوية. بينما تتيح المروحة المنخفضة التكاليف ذات السرعتين حوالي من ٦٠ إلى ٦٥٪ من سعة المروحة الكلية عند ضبطها على السرعة المنخفضة. وتصمم العديد من المنشآت الزراعية الصغيرة للعمل بمروحة ذات سرعتين فقط لضغط الإنفاق بالرغم من أن ذلك في الغالب ما ينتج عنه توزيع شاذ لدرجات الحرارة داخل المنشأة نتيجة للتغيّرات المفاجئة في سريان الهواء. و يعتبر استخدام مروحتين أو أكثر بالنسبة للمنشآت الكبيرة أفضل من الناحية الاقتصادية. وقد تستخدم المراوح الإضافية أو أي أنواع أخرى من المراوح ذات السرعة الواحدة لتوفير السعة القصوى من التهوية الكلية.

ويُقسّم معدل التهوية المتبقى بعد المرحلة الأولى إلى مرحلتين أو عدة مراحل متساوية حتى يتم الوصول إلى أقصى معدل تهوية مطلوب. ويوضح الجدول رقم (١٢,١) مراحل التهوية لمنشآت نمو النباتات.

جدول (١ , ١٢). مراحل التهوية لمنشآت نمو النباتات

التهوية الكلية المطلوبة (م³/ دقيقة)	مرحلة أولى	مرحلة ثانية	مراحل متوسطة	مرحلة نهائية
‹٣٤٠	١٠-٢٥٪*	٣٧-٥٠٪*	-	٣٧-٥٠٪
٣٤٠ - ١٧٠٠	١٠-٢٥٪*	١٠-٢٥٪	٣٠-٣٧٪	٣٠-٣٧٪
›١٧٠٠	١٠-٢٥٪	-	٣ أو أكثر من المراوح المستوية	-
مضروبات كبيرة	١٠-١٥٪	٢٥-٣٥٪	٢٥-٣٥٪	٥٠-٣٥٪

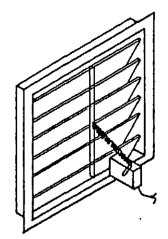
* يمكن استخدام مروحة ذات سرعتين

أنواع وأحجام مداخل الهواء (Air Inlet Types and Sizing)

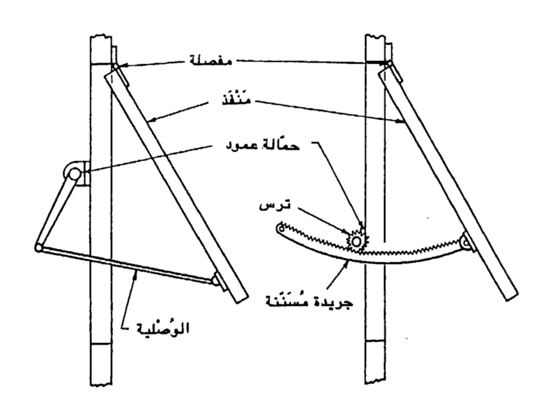
من الضروري التحكم في الهواء عند المداخل لتجنب تيار الهواء المباشر على النباتات. ويمكن الحصول على خلط جيد إذا كانت سرعة الهواء في المدى من٣ , ٣ إلى ٥ (م/ ث)[٥]. و يمكن الحصول على تلك السرعات عن طريق تغيير مساحة المدخل عند كل مرحلة من مراحل التهوية. وتحتاج المداخل أيضًا للتوجيه إلى الوضع الصحيح، وذلك لمنع اتجاه تيار الهواء الداخل صوب النباتات وخاصة الحساسة منها، كما يحتاج الهواء الداخل أيضًا إلى تصريفه إلى نظم خلط وتوزيع.

وتوجد طريقتان شائعتان الاستخدام بالنسبة للتحكم في مداخل الهواء: (أ) الحواجز ذات المحركات الكهربائية، و(ب) الألواح المفصلية الأفقية من نوع-شباك.

ويجب عند استخدام الحواجز التي تعمل بالمحركات الكهربائية أن يتوافق حجم المصاريع بانسجام مع عمل المراوح عند كل مرحلة من مراحل التهوية، الشكل رقم (٢ , ١٢أ).



(أ) - مصراع من نوع - الحائط يعمل بالجاذبية أو بمحرك كهربائي



(ب) - ألواح تهوية مفصلية أفقية من نوع - شباك

شكل (٢ , ١٢). نوعان أساسيان من فتحات تحكم يستخدمان في البيوت المحمية

وتعمل الحواجز الأفقية بواسطة حامل يتحرك عن طريق محرك كهربائي وترس توجيه- الشكل رقم (٢ , ١٢ب)- للفتح على مراحل لمساحة فتحة تتناسب مع عدد المراوح في كل مرحلة من مراحل التهوية، و بحيث يمكن المحافظة على سرعة دخول للهواء في المدى من ٣,٣ إلى ٥ (م/ ث).

وتعمل هذه الوحدات على مراحل مماثلة لمراحل المراوح عن طريق استخدام ثرموستات يحس درجة حرارة البيت المحمى. و يُدار عمود فتح المصاريع باستخدام محرك ذي رأس ترسية. وتتكون وحدة التحكم من مجموعة متوالية من مفاتيح تعمل بواسطة كامات ومُرحّلات تتحكم في محرك توجيه النوافذ والمراوح. فيبدأ ثرموستات المرحلة الأولى عند التهوية في تشغيل المحرك الذي يفتح النافذة حتى نهاية المرحلة الأولى. و يوقف المتحكم الذي يحس وضع النافذة محرك سحب النافذة ثم يدير مراوح المرحلة الأولى. و يُدار محرك فتح النافذة مرة أخرى- في حالة طلب ثرموستات المرحلة الثانية تبريداً إضافيًا- لفتح النافذة إلى المرحلة التالية ثم بعد ذلك يبدأ في تشغيل المراوح التالية في الترتيب. وتعمل المراحل المتبقية على نفس النمط. وتغلق مراحل استخدام المراوح والنوافذ بالترتيب المعاكس للفتح عندما يبدأ كل ثرموستات في فتح الدوائر الخاصة به.

ويمكن استخدام هذا النظام في البيوت المحمية الصغيرة، ولكن في الغالب مايستخدم في البيوت ذات الأسطح الجمالونية أو ذات الوصلات المزرابية. ويجب استخدام أكثر من وحدة تحكم بالنسبة للمساحات الكبيرة مع توظيف كل وحدة لمساحة لاتزيد على نصف هكتار.

توزيع وتقليب الهواء (Air Circulation and Distribution)

يعتبر استعمال بعض الوسائل لإحداث حركة وتقليب للهواء خلال المنشأة ضروريًا في الفترات التي لاتوجد الحاجة إلى تهوية، أو يُحتاج إلى تهوية ولكن بمعدل منخفض. ويرجع الغرض من ذلك إلى منع تراكم الحرارة والرطوبة أو ثاني أكسيد الكربون. ويُقترح أن تكون أقل سرعة عند وسط نمو النباتات في حدود ٢ , ٠ (م/ ث)[٦]، كما يجب ألاتزيد السرعة على ٠ , ١ (م/ ث).

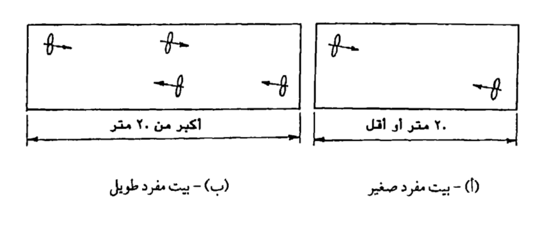
ويمكن استخدام أي من الطريقتين التاليتين لتقليب الهواء: (أ) مروحة تقليب أفقية أو (ب) أنابيب رأسية مثقبة مصنوعة من البلاستيك. وبصرف النظر عن نوع النظام المستخدم، فإنه يوصى بأن تكون سعة المروحة الكلية أكبر ٣٠٪ من حجم المنزل الكلي [٦].

طريقة تقليب الهواء أفقيًا (Horizontal Air Circulation Method)

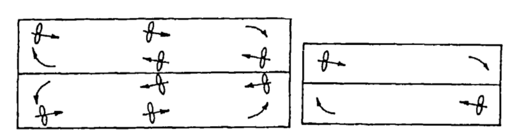
تتكون طريقة التقليب في اتجاه أفقي من مراوح منخفضة التكاليف ذات دفع مباشر وقطر ٣٨-٦١ سم. ويتم تركيب تلك المراوح عند مستوى محدد فوق المحصول لإحداث حركة وتقليب للهواء. ويتم تشغيل المراوح بواسطة محركات كهربائية صغيرة، كما يتم توزيع عدد من المراوح على أبعاد متساوية فوق المحصول لتطوير نمط تقليب وحركة أفقية للهواء[٧]. ويمكن أن تكون مراوح التقليب هي نفس مراوح وحدات التدفئة أو تجهيزات تدفئة مماثلة تعمل باستمرار مع فرض أنهما من الحجم الكاف.

وتركب المراوح - بالنسبة للبيت المفرد الذي يتراوح طوله من ١٥ إلى ٢٠ م أو أقل- في الأركان ذات المحاور المتقابلة وعلى مسافة حوالي ٣ م من الحائط النهائي وعلى مسافة أيضًا ٤\١ عرض البيت من الحائط الجانبي. ويجب أن توجه كل مروحة بطول جانب البيت، كما هو موضح في الشكل رقم (٣,١٢أ). ويجب أن تمال المراوح قليلاً (١٠ إلى ١٥ درجة) ناحية المركز لمنع تولّد مناطق ذات حركة هواء منخفضة في منتصف البيت[٦]. ويجب أن تكون المراوح قريبة من السطح وأن تعمل باستمرار بدءًا من فصل الخريف حتى نهاية الربيع ثم تتوقف في الصيف. وتستخدم مروحتان إضافيتان بالنسبة للبيوت الأطول من ١٥ إلى ٢٠ م، وذلك للتأكد من اكتمال تقليب الهواء. ويجب أن تركب تلك المروحتان في منتصف الطريق بطول البيت وعلى الجوانب المتقابلة، الشكل رقم (٣,١٢ب). ويمكن استخدام أزواج من مراوح إضافية للبيوت الطويلة للغاية على أن تكون المسافة بين كل مروحتين متتاليتين من ١٥ إلى ٢٠م.

ويتم عادة تقليب الهواء بالنسبة للبيوت المتلاصقة المتعددة - الاتصال (من الشائع مايشار إليها بالبيوت المزرابية أو الأخدودية) إلى أسفل أحد البيوت ومنه



(ب) - بيت مفرد طويل　　(أ) - بيت مفرد صغير



(د) - بيوت واسعة طويلة متعددة　　(جـ) - بيوت طويلة ضيقة متعددة

شكل (٣, ١٢). ترتيبات نموذجية للمراوح في طريقة تقليب الهواء بواسطة مراوح مائلة أفقيًا (الزاوية من ١٠ إلى ١٥ درجة من الحائط الجانبي).

أعلى البيت المجاور، الشكل رقم (٣, ١٢جـ). وعادة مايتم تقليب الهواء بالنسبة للبيوت الأخدودية ذات العرض ٧ م أو أكثر من خلال كل بيت على حدة، الشكل رقم (٣, ١٢د). ونجد في هذه الحالة أن حركة الهواء في البيوت المتلاصقة تكون في اتجاهات متعاكسة بحيث تكون أنماط التقليب في نفس الاتجاه بطول الخط المشترك للدعامات.

وتعتبر طريقة التقليب الأفقية بسيطة من حيث التركيب والتشغيل ولها أفضل أداء مع المنشآت التي تحتوي على نباتات ذات ارتفاعات متوسطة ومنخفضة؛ نظراً لوجود حيّز كاف لتيار الهواء بين المحصول وسطح المبنى يسمح للخلط والانتشار قبل الوصول إلى أوراق النبات.

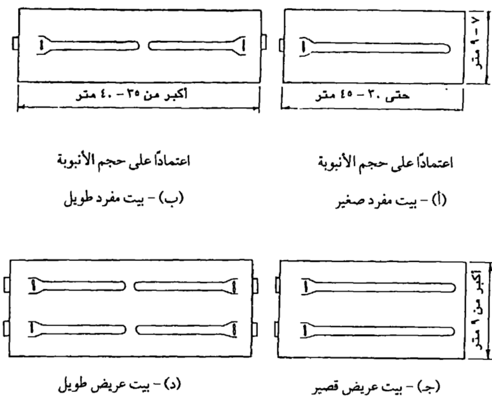
الأنابيب البلاستيكية المثقبة العلوية (Overhead Perforated Plastic Tubes)

تعتبر طريقة المروحة المعلقة مع أنبوبة بلاستيكية مثقبة من الطرق المتوافرة تجاريًا، حيث يتكون التجهيز من مروحة مركبة في نهاية البيت تدفع هواء من خلال أنبوبة من البولي إيثيلين معلقة بطول البيت، الشكل رقم (٤ , ١٢). وتحتوي الأنبوبة على فتحات صغيرة على مسافات متساوية بطول الأنبوبة للسماح بتصرف الهواء إلى حيز البيت المحمي. وعادة ما تركب المروحة الضاغطة على مسافة تبعد عن الحائط النهائي بمقدار قطر الأنبوبة للسماح بدخول كل من الهواء الداخلي والحرارة للتقليب والتوزيع المستمر. وتركب المروحة أيضًا على خط الحائط النهائي مع بوابات دخول تعمل بمحرك كهربائي بحيث تفتح هذه البوابات عند تشغيل المرحلة الأولى لطرد غازات العادم، كما تسمح بخلط الهواء الخارجي البارد والمسحوب إلى المروحة مع الهواء الدافيء ثم توزيعه من خلال المبنى. وأحيانًا ما تتجمع تجهيزات التدفئة مع المروحة والأنبوبة لتوفير توزيع جيد للحرارة، الشكل رقم (٥ , ١٢).

وتتوافر تجاريًا ثلاثة أحجام (أقطار) مختلفة للمراوح والأنابيب المثقبة : ٠,٤٦ و٠,٦١ و٠,٧٦ م للقطر. وتكون أطوال الأنابيب متوافرة حتى ٤٥ م تقريبًا. (ملحوظة : توجد أيضًا أنابيب ذات أطوال أكبر ولكن تكون سعة التهوية وتوزيع الهواء عامة منخفضة للغاية عند مواجهة أقل المتطلبات).

وعادة ما تستخدم أنبوبة واحدة فقط للحصول على توزيع جيد للهواء بالنسبة للمباني التي يتراوح عرضها من ٧ إلى ٩ م. وتستخدم أنبوبتان بالنسبة للمباني الأعرض من ذلك. وعمليًا يجب اختيار موضع تركيب الأنبوبة – المفردة بالقرب من مركز المبنى وعلى ارتفاع كاف يسمح بحرية حركة للعمال والأجهزة أسفل الأنبوب. و يفضل عند تركيب أنبوبتين أن تكون كل أنبوبة على أبعاد متساوية بقدر الإمكان بين الحائط الجانبي ومركز المبنى.

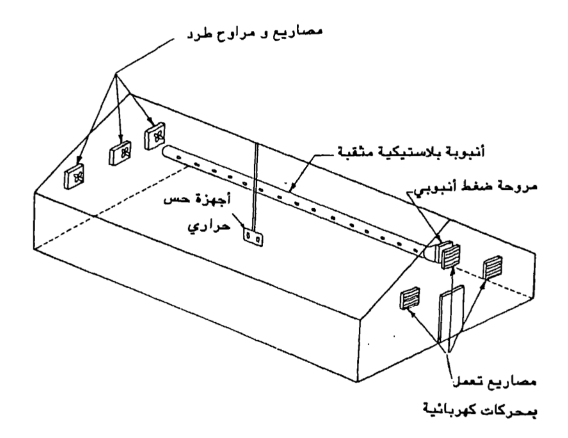
و توضح التوصيات التجارية أنه يمكن زيادة طول الأنبوبة ذات القطر ٤٦,٠ م إلى أقصى قيمة من ٣٦ إلى ٤٠ م، والأنبوبة ذات القطر (٦١, م) من ٤٩ إلى ٥٥ م، والأنبوبة ذات القطر (٧٦, م) من ٦١ إلى ٧٠ م. ولكن يجب استخدام طول للأنبوب يتراوح من نصف إلى ثلثي القيمة القصوى للأطوال. ويرجع السبب في



شكل (٤ , ١٢). ترتيبات نموذجية للأجهزة في طريقة تقليب الهواء بواسطة مروحة وأنبوبة بلاستيكية مثقبة.

ذلك للحصول على مستوى تقليب للهواء يعادل المستوى الموصى باستخدامه أي ٢٠ إلى ٣٠٪ من حجم البيت[٦] .

و يوضح الجدول رقم (٢ , ١٢) أحجام كل من سعات المروحة – الأنبوبة المستخدمة مع العديد من البيوت، كما يوضح الشكلان رقما (٤ , ١٢) و(٥ , ١٢) نظم التركيب . فعلى سبيل المثال، قد يتطلب المبنى ٩ × ٣٠ م أنبوبة (٦١ , م) ذات طول كامل أو أنبوبتين (٤٦ , م) ذات أنصاف أطوال . ويجب اختيار حجم مرحلة التهوية الأولى مساوياً لسعة الأنبوبة والمروحة بحيث يتم سحب الهواء البارد الداخل كاملاً إلى الأنبوبة ثم يخلط بواسطة مروحة الأنبوبة .



شكل (٥ , ١٢). إضافة مروحة مرتفعة وأنبوبة بلاستيكية مثقبة إلى نظام التهوية الطاردة

تجهيزات التبريد التبخيري (Evaporative Cooling Equipment)

دائمًا ما تكون البيوت المحمية دافئة للغاية عند سقوط مستويات مرتفعة من الطاقة الشمسية. فترتفع درجة الحرارة داخل البيت المحمي تحت الظروف الطبيعية في يوم مشمس من أيام الصيف الدافئة عن درجة الحرارة الخارجية. وتعتمد الزيادة في درجة الحرارة الداخلية على درجة الحرارة الخارجية وكمية الطاقة الشمسية الداخلة إلى البيت وكفاءة نظام التهوية ومعدل التهوية. وقد تساعد عملية تظليل البيت على الحد من ارتفاع درجة الحرارة، وذلك بالإقلال من دخول الطاقة الشمسية إلى البيت المحمي. ومع ذلك ترتفع درجة الحرارة الداخلية مع دخول كمية الطاقة

جدول (٢ , ١٢) . تصنيفات مراوح تجارية نموذجية وأنابيب تقليب هواء بلاستيكية مثقبة وأحجام البيوت المتوافقة* .

تصنيفات تجارية نموذجية			عرض المنشأة ٧-٩ م (عرض أنبوبة)		عرض المنشأة ٩-١٢ م (عرض أنبوبتين)	
حجم	قطر	سعة	طول كلي	نصف طول	طول كلي	نصف طول
			طول المنشأة بالأمتار			
م	(بوصة)	م٣/ دقيقة				
٠,٤٦	(١٨)	٦٢	١٠-١٢	٢٠-٢٥	٧-١٠	١٥-٢٠
٠,٤٦	(١٨)	٨٨	١٤-١٨	٢٨-٣٥	١١-١٤	٢١-٢٨
٠,٦١	(٢٤)	١٥٣	٢٤-٣٠	٤٩-٦١	١٨-٢٤	٣٧-٤٩
٠,٦١	(٢٤)	٢٤٢	٣٩-٤٨	٧٨-٩٧	٢٩-٣٩	٥٨-٧٨

* أُخذ متوسط ارتفاع المنشأة الداخلي ٢,٧ م بناءً على سعة تقليب مساوية ٢٥٪ من حجم المنشأة. ويتم اختيار حجم الأنبوبة الأصغر أو الأكبر بالنسبة لطول منشأة واقع بين قيمتين معلومتين بناءً على ما إذا كانت الرغبة في الحصول على سعة تقليب وكفاءة أعلى أو أقل.

الشمسية المتبقية . ولابد من استخدام بعض صور التبريد إذا كان الهدف المحافظة على درجات حرارة الصيف الداخلية .

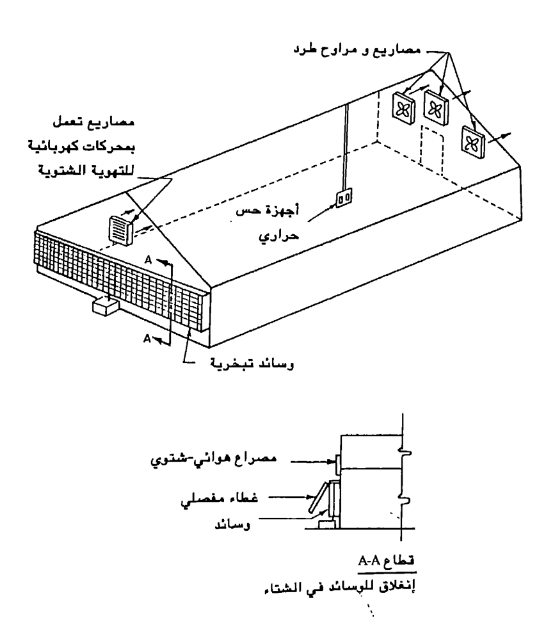
و يجب استخدام نظم تبخير الماء بدلاً من نظم التبريد الميكانيكية (المكيّفات) لخفض درجات حرارة البيت المحمي الداخلية . ويرجع السبب في ذلك إلى أنها أكثر ملاءمةً من حيث زيادة رطوبة الهواء مع التبريد . وتعتبر الرطوبة مهمة ؛ نظراً لتأثيرها على معدل فقد الماء من النباتات . فيعمل الوسط ذو الرطوبة المرتفعة على تقليل فقد الماء من النباتات و بالتالي تقليل احتمالات الذبول . و يعمل نظام التبريد التبخيري على خفض درجة حرارة الهواء المحسوسة في نفس الوقت الذي يزيد من الرطوبة

باستخدام حرارة الهواء في تبخير الماء. و يناقش الفصل السادس بالتفصيل مفاهيم التبريد التبخيري ومركبات ومتطلبات ذلك النظام.

ومن عيوب التبريد الميكانيكي - مكيّفات المساكن العادية- خفض مستويات الرطوبة، كما يعتبر مكلفًا للغاية؛ نظرًا لكبر كميات الطاقة الشمسية الداخلة إلى البيت المحمي والواجب إزالتها. ويكون لدى بيت محمي ذي مادة غطاء جيدة ونظيفة القدرة على إمرار حرارة بمعدل حوالي من ٦٣٠ إلى ٧٨٨ واط/ م٢ من مساحة الأرضية. ويعني ذلك أنه قد يكون المطلوب استخدام واحد طن تبريد ميكانيكي (٣,٥٢ك. واط) لكل ٤,٥ إلى ٥,٦ م٢ من مساحة الأرضية. وقد يكون المطلوب استخدام واحد طن تبريد لكل ١٠ إلى ١١ م٢ من مساحة الأرضية في حالة استخدام مركبات تظليل والتي تعمل على خفض إمرار الطاقة الشمسية بنسبة ٥٠ ٪(٨).

و يعتبر نظام التبريد ذو المروحة والوسادة من أكثر نظم التبريد الشائعة الاستخدام، الشكل رقم (٦ ,١٢). فيتم تركيب مراوح الطرد مع هذا النوع من النظم على أحد حوائط البيت المحمي، بينما تركب الوسائد على الحائط المقابل. ويجب اختيار حجم الوسادة بحيث يحتاج إلى واحد متر مربع من المساحة لكل ٧٥, (م٣/ ث) من سعة المروحة- وذلك في حالة تركيب الوسادة في وضع رأسي- كما يحتاج إلى واحد متر مربع لكل واحد (م٣/ ث) إذا تم تركيب الوسادة أفقيًا. وغالبًا ما تكون مادة الوسادة مصنوعة من مزقات طويلة من ألياف الخشب الخشن بسمك ٥٠ إلى ٧٥م. وتكتسب المواد المعرّجة الجديدة والمعاملة حديثًا بالورق مثل المادة السيليلوزية شعبية؛ نظرًا للأداء الأفضل لهذه المواد عند سرعات هواء مرتفعة- واحد متر مربع من مساحة الوسادة لكل ١,٢٥ إلى ١,٧٥(م٣/ ث)- (ولمزيد من المعرفة، انظر الفصل السادس).

وتُحدث مراوح التهوية الطاردة ضغط تفريغ منخفضًا في البيت مما يؤدي إلى دخول الهواء إلى البيت من خلال أي فتحات، متضمنةً الشقوق بين الألواح الزجاجية. ونظراً لأن الهواء الداخل من خلال فتحات أو تشققات لا يمر من خلال



شكل(٦ , ١٢) . مراوح طرد ووسادة تبريد على الحائط النهائي

مادة الوسادة، فإنه لن تحدث لذلك الهواء أي عملية تبريد، وعليه لابد وأن يكون البيت المحمي في حالة جيدة ومحكم الغلق لزيادة فعالية التبريد التبخيري. ويجب أيضًا تزويد البيت المحمي بأبواب مصنوعة جيدًا، وكذلك محكمة الغلق.

و يجب أن تركب الوسائد مستمرة بطول الحائط مع عدم وجود أي فراغات بين الوسائد. ويفضل أن يكون ارتفاع مستوى قمة الوسادة متناسبًا مع ارتفاع سطح قمة النباتات داخل البيت المحمي. ولايحبذ وجود أي ارتخاءات أو ترهّلات للوسائد، كما ولابد من المحافظة على الإبلال الكامل للوسائد (عدم وجود أي بقع جافة). ولابد أيضًا من توافر وسائل تمنع سريان الهواء من خلال الوسائد في الأجواء الباردة. ويتم ذلك طبيعيًا بوضع ألواح تهوية ذات مفصلات على الحائط الجانبي فوق الوسائد بحيث يتم فتح تلك الهوايات يدويًا عند الحاجة إلى تبريد. وعادة ما يتم تغطية هذه الألواح بالزجاج أو بالألياف الزجاجية.

ويمكن تركيب الوسائد خارج الحوائط الجانبية أو النهائية على شكل حائط مستعار يسمح باستخدام الفتحات القياسية الجانبية أو النهائية. ولابد وأن يكون الحيّز بين حائط الوسادة والبيت المحمي محكم الغلق بحيث لابد وأن يُدفع أي هواء إلى البيت المحمي من خلال الوسائد. ومن عيوب هذا الترتيب عدم القدرة على منع مياه الأمطار بعيدًا عن الوسائد، والتي بدورها قد تملأ الحوض المائي بكمية أكثر من الواجب. ونظرًا لأنه عادة ماتستخدم مواد حافظة في دورة الماء للتحكم في نمو الطحالب على الوسائد، فإن الامتلاء الزائد للحوض المائي قد ينتج عنه فقد لتلك المواد. وفي بعض الأحيان يتم تعليق الوسائد أو تفل قصب السكر ذي الطلاء-الأسمنتي أفقيًا وملاصقًا للبيت في هيكل ملائم، كما يتم ترطيب الوسائد باستخدام فوّهات ترذيذ (الفصل السادس). و يسمح بذلك لإتاحة مساحة سطحية أكبر عما هو موجود عند الحوائط النهائية لبعض أنواع المباني. وتوجد مع هذا الترتيب أيضًا مشكلة مياه الأمطار، إلا إذا توافرت حماية لسطح المبنى.

المبرّدات التبخيرية ذات الوحدات المتكاملة (Package Unit Evaporative Coolers)

تعتبر وحدات المبرّدات التبخيرية المتكاملة من الأنواع المتوافرة تجاريًا، الشكل رقم (١٢,٧). وتتكون تلك الوحدات من مروحة ضغط مركزي تدفع الهواء إلى البيت المحمي. وتركب خارج المروحة على السياج الخاص بالوحدة وسائد رقيقة. وتوجد مضخة داخل الوحدة تقوم بترذيذ الماء على الوسائد. ويتم صرف الماء الزائد إلى قاع الوحدة الذي يعمل كخزان مائي. وتكون سعة الهواء المستخدمة في بعض الوحدات التجارية في الحدود من ٦٢ إلى ٥٩٥ (م³/ دقيقة).

ويعتبر الحصول على توزيع منتظم للهواء البارد المتصرّف إلى داخل البيت مشكلة هذه الوحدات. ويتم عادة تركيب تلك الوحدات على جانب أو جوانب البيت المحمي. وكلما كانت تلك الوحدات مركبة بالقرب من بعضها البعض بطول الحائط، كلما كان توزيع الهواء أكثر انتظامًا. ونظرًا لمشاكل توزيع الهواء في البيوت الكبيرة، فإن وحدة التبريد وملحقاتها غالبًا ما تكون محدودة الاستخدام داخل البيوت المحمية الصغيرة وغير المخصصة للإنتاج التجاري.

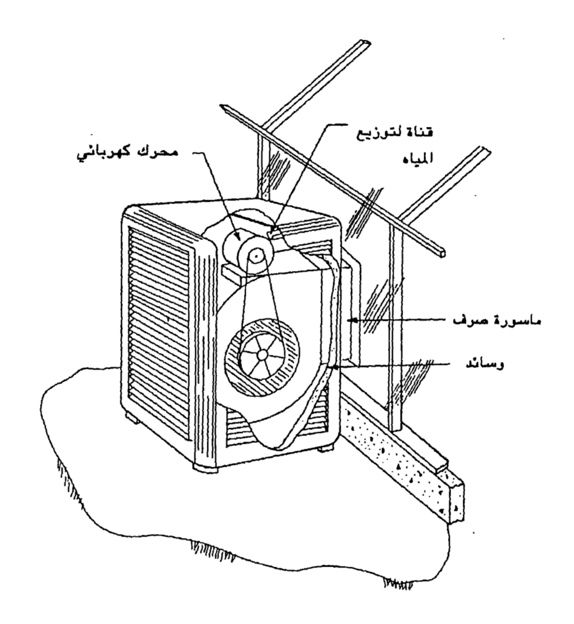
ولابد وأن يحل الهواء البارد الداخل إلى البيت المحمي محل الهواء الموجود فعلاً داخل البيت. وبناءً على ذلك، فإنه من الضروري عمل فتحات أو تركيب مصاريع تعمل بمحركات كهربائية على الحائط الجانبي أو النهائي. و يجب توفير واحد متر مربع من مساحة التهوية لكل ٣,٣ (م³ / ث) من سعة المروحة[٨].

نظم التهوية الطاردة

(EXHAUST VENTILATION SYSTEMS)

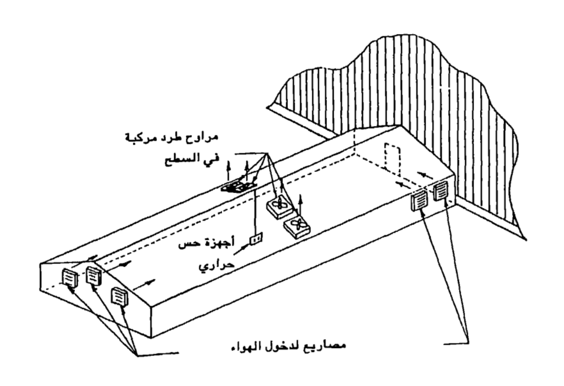
تركيب مراوح الطرد على الحائط النهائي (End Wall Exhaust Fans)

تعتبر عملية تركيب المراوح على أحد الحوائط النهائية للمنشأة ومصاريع مداخل الهواء على الحائط النهائي الآخر- الشكلان رقما (١٢,١) و(١٢,٦) - من الطرق الأكثر شيوعًا للتهوية بالنسبة لمنشآت نمو النباتات ذات الأشكال المستطيلة والتي يتراوح طولها من ٣٨ حتى ٤٥ م[١]. و يجب - لو أمكن بالنسبة للبيوت



شكل (١٢,٧). وحدة تبريد تبخيري متكاملة

الطويلة- تركيب المراوح بالقرب من مركز البيت مع وجود مصاريع مداخل الهواء عند كل حائط نهائي، وذلك لتقصير مسافة سريان الهواء بين المداخل والمخارج، الشكل رقم (١٢,٨).



شكل (١٢,٨). مصاريع طرد مركبة في السقف في مركز منشأة طويلة

وتستخدم مروحتان أو أكثر مع تجهيزات المداخل لتزويد معدل التهوية المرغوب، والسماح بزيادة التهوية على مراحل على حسب الجدول رقم (١, ١٢). و يجب تركيب مروحة ومصراع مدخل المرحلة الأولى على ارتفاع مناسب على الحائط النهائي، كما يجب تركيب المركبات الإضافية مرتفعة بقدر الإمكان وفي الأماكن المتاخمة للحائط النهائي. و يجب تركيب أجهزة التحكم في درجات الحرارة (الشرموستات) بالقرب من مستوى النبات و بعيداً عن أي تجهيزات أوحركة العاملين وتقريباً في منتصف-الطريق بطول البيت.

ويجب أن تتم التوصيلات الكهربائية بحيث تعمل مروحة تهوية المرحلة الأولى لحظيًا مع أجهزة مداخل الهواء. ويجب أن تعمل مراوح تهوية المراحل الإضافية والمصاريع بالترتيب- بناءً على مدى ارتفاع درجات الحرارة - عند كل زيادة في درجة الحرارة ١ إلى ٢ °م.

ولابد من وجود حواجز ضد التيارات الهوائية العكسية تركب على الجانب الخارجي من مراوح الطرد بحيث تُفتح الحواجز بضغط المروحة أثناء التشغيل وتُغلق بإحكام في حالة عدم التشغيل، وذلك لمنع دخول وتسرب الهواء غير المرغوب. ويجب أن تُغلق بالمثل أجهزة مداخل الهواء عند عدم الاستخدام، وأن تُفتح آليًا عند تشغيل مراوح التهوية. وللتأكد من حدوث تهوية فعّالة داخل البيت، فإنه لابد من منع تسرب الهواء من أي فتحات أخرى بطول الجوانب أو عند نهاية المروحة من البيت.

و نظراً لأن الهواء الداخل من خلال المصراع أو المصاريع في الشتاء غالبًا ما يكون باردًا، فإنه يجب حفظ هذا الهواء في الجزء العلوي من البيت حتى يتم الخلط مع هواء البيت المحمي. ويمكن أيضًا استخدام الأنبوبة العلوية المثقبة- والتي تعمل أصلاً على تقليب الهواء- في دفع هواء التهوية البارد إلى البيت المحمي، الشكل رقم (١٢,٥). ويعطي ميل ريش المصراع في حالة الفتح إلى أعلى دفعة للهواء الداخل إلى أعلى مع تزويد خلط معقول قبل وصول الهواء إلى مستوى النبات.

ويمكن- للحصول على توجيه أفضل للهواء- تركيب حاجز مائل من الألياف الزجاجية أو أي مادة مماثلة عند الحافة السفلى لمقدمة المصراع تعمل على توجيه الهواء إلى أعلى.

تركيب مراوح الطرد على الحوائط الجانبية (Sidewall Exhaust Fans)

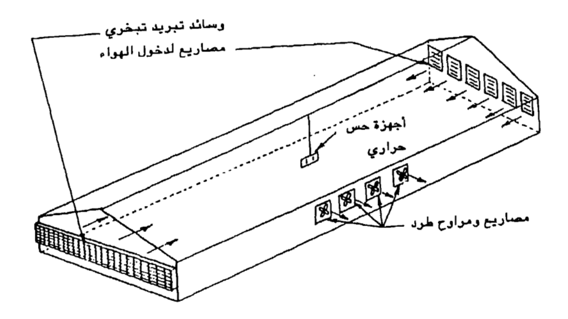
تركب مراوح الطرد في بعض المنشآت الطويلة نسبيًا (أطول من ٤٥ م) بطول الحائط الجانبي بدلاً من الحائط النهائي. و يستخدم ذلك الترتيب عند: (أ) تزايد ارتفاع درجة حرارة الهواء بطول المبنى من إحدى النهايات إلى النهاية الأخرى، (ب)

تركيب وسائد التبريد التبخيرى بطول أحد الجوانب، و(جـ) تقسيم المنشأة إلى أقسام أو حجرات بحيث يتم التحكم في التهوية في كل حجرة على حدة. ويتم تجميع مراوح الطرد مع بعضها البعض عند المركز أو على مسافات بطول الحائط الجانبي بناءً على وجود أي من الحالات السابقة.

ويمكن تجميع المراوح في مركز الحائط الجانبي في حالة استخدام نفس مساحة-مقطع مصاريع مداخل الهواء أو وسائد التبريد على كل من الحائطين النهائيين، الشكل رقم (٩ , ١٢). ولابد من فتح أو غلق المصاريع أو وسائد التبريد على فترات متوافقة لتزويد سريان هوائي منتظم. ويمكن التحكم في مداخل الهواء كلٌ على حدة إذا كان من المرغوب الحصول على ظروف مختلفة من درجات الحرارة لكل نصف من المبنى. وترجع نقطة الضعف في هذا الترتيب إلى حدوث سريان هوائي منخفض بطول الحائط الجانبي المواجه للمراوح؛ نظراً لأن الهواء القادم من جهة كل حائط نهائي يميل للانتقال جهة المراوح تاركًا منطقة "هواء ساكن" على الجانب المقابل. ويمكن استخدام مصراع صغير أو اثنين على الحائط الجانبي لتصحيح هذه الحالة.

ويجب عند تركيب وسائد التبريد التبخيري بطول أحد الحوائط الجانبية أن تكون مراوح الطرد مركبة على مسافات منتظمة بطول الحائط المقابل، الشكل رقم (١٠ , ١٢). وتعتبر انتظامية تزويد سريان الهواء عبر البيت عند مراحل تهوية متغيّرة الصعوبة الأساسية مع هذا الترتيب. فيجب أن تكون المروحة القريبة من المركز هي الأولى في التشغيل مع تشغيل متوال تبادليً من إحدى النهايات إلى النهاية الأخرى، وذلك لموازنة أنماط سريان الهوَاء. وقد تتولد مناطق هواء ساكنة بين المراوح في حالة ما إذا كانت المسافات بين المراوح وبعضها البعض بطول الحائط كبيرة (كما في حالة استخدام عدد قليل من مراوح كبيرة الحجم). وكقاعدة عامة، يجب أن تكون أقصى مسافة بين كل مروحتين متتاليتين بطول الحائط ٨ م أو أقل[١,٢].

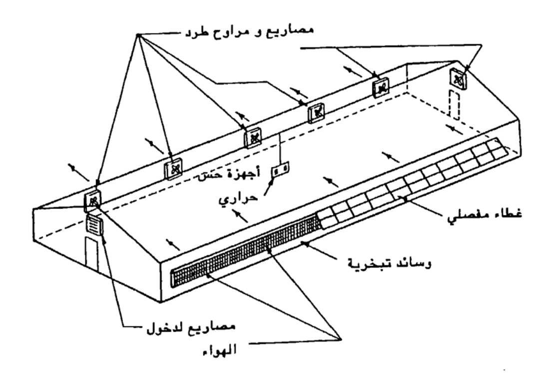
ويعني ذلك، بالنسبة للعديد من المنشآت، الحاجة إلى عدد أكثر من المراوح من الحجم الصغير عند التركيب على الحائط الجانبي بدلاً من الحائط النهائي. وليس من



شكل (٩ , ١٢). مراوح طرد مركبة على الحائط الجانبي مع مصاريع مداخل هوائية ووسادة تبريد على الحوائط النهائية.

السهل مع هذا الترتيب استخدام معدلات تهوية منخفضة في الشتاء. أما في حالة ما إذا تُركت فتحة التهوية أو غطاء وسادة التبريد مفتوحين قليلاً في الشتاء- لتخدم كفتحة دخول للهواء- فإن ذلك سوف يؤدي إلى تسرب كبير نسبيًا للهواء الخارجي البارد في الأيام العاصفة، وخاصةً إذا كان اتجاه الرياح يأتي من جانب دخول الهواء إلى البيت. ومن الأرجح أن يزيد ذلك من تكاليف طاقة التدفئة، وعليه فإنه يجب استخدام مصراع مع مراوح لتقليب الهواء أفقيًا على الحائط النهائي أو استخدام أنبوبة بلاستيكية مثقبة بالنسبة لمراحل التهوية الأولى والثانية في الأجواء الباردة.

وتعتبر التهوية باستخدام الطرد من على الحائط الجانبي ملائمة جداً بالنسبة للمنشآت المقسّمة إلى أجزاء، الشكل رقم (١٠ , ١٢). ويمكن تحديد حجم المراوح ومصاريع المداخل أو وسائد التبريد بالنسبة لكل جزء ثم التحكم في كل جزء على حدة.



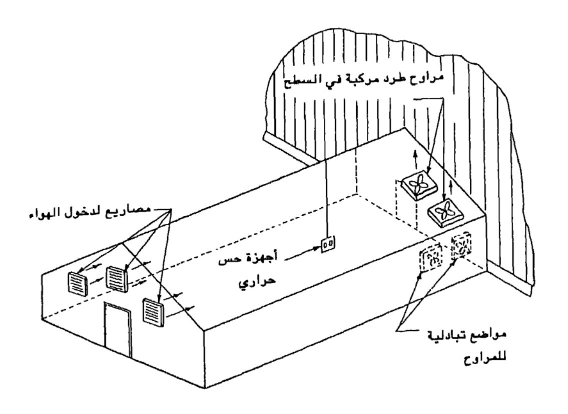
شكل (١٠ , ١٢). مراوح طرد مركبة على حائط جانبي ووسادة التبريد على الحائط الجانبي المقابل مع غطاء مفصلي أو مصاريع مداخل هوائية.

ويجب تركيب أجهزة التحكم في درجات الحرارة (الثرموستات) أو أي أجهزة تحكم أخرى بالقرب من مستوى النبات عند منتصف المبنى. و يجب أن تُظلّل وتُحمى تلك الأجهزة من أشعة الشمس، وأن تكون بعيدة عن التجهيزات وحركة العاملين كما تم وصفه سابقًا.

مراوح الطرد المعلقة في السطح (Roof-Mounted Exhaust Fans)

تستخدم المراوح المعلقة في سطح البيت عندما توجد إعاقة للحوائط النهائية أو الجانبية بواسطة تجهيزات أو مباني أخرى ملاصقة. ويمكن تركيب تلك المراوح

بالقرب من النهايات، الشكل (١١ , ١٢)، أو في مركز المنشأة، الشكل رقم (٨ , ١٢). وتستخدم أيضًا المراوح المعلقة في السطح في المنطقة المركزية للمنشأة الطويلة والجمالونية الشكل لتقصير المسافة من المداخل عند النهايات إلى المراوح، وبذلك تتحسن التهوية وتتخلص المناطق من تراكم الحرارة.



شكل (١١ , ١٢). تركيب مراوح في السطح بالقرب من نهاية منشأة في حالة وجود عوائق عند الحائط النهائي.

وتعتبر المراوح المعلقة في السطح صعبة ومكلفة من حيث التركيب عن الوحدات المتساوية في الحجم والمركبة على الحوائط . وتحتاج تلك المراوح إلى أغطية خاصة لمنع تراكم الثلوج ودخول الأمطار وتجمدها، ولكن سوف تفتح لتشغيل المراوح عند الضرورة . ونتيجة لذلك تستخدم أغطية تعمل آليًا وتتحمل تلك الظروف . وقد تتعارض المراوح المعلقة في السطح أيضًا مع الأغطية البلاستيكية المزدوجة الطبقات والمنتفخة والتي دائمًا ما تستخدم كأغطية للبيوت المحمية . ويكون أحد حلول هذه المشكلة عن طريق عمل قطاع دائم عبر سطح المنشأة حيث يتم تركيب المراوح . ويمكن أيضًا بناء نوافذ ناتئة من السطح الجمالوني عند تركيب المراوح رأسيًا .

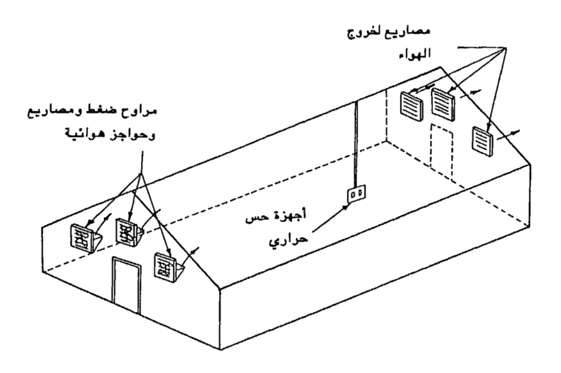
وتركب مصاريع مداخل الهواء مع هذا الترتيب في الحائط النهائي المقابل أو الحائط الجانبي المقابل . ويجب تركيب مصاريع مداخل الهواء في السطح فقط تحت ظروف ضرورية قصوى . وإذا كان ذلك ضروريًا، فإنه يجب بناء نوافذ ناتئة من السطح الجمالوني تتمشى مع مصاريع الحوائط لتجنب مشاكل الأمطار والثلوج مع هذه الأجهزة .

نظم التهوية الضاغطة

(PRESSURIZED VENTILATION SYSTEMS)

مراوح الضغط المركبة على الحائط النهائي (Pressure End Wall Fans)

يتكون نظام المراوح الضاغطة والمركبة على الحائط النهائي من مروحة أو أكثر معلقة عند ارتفاع مناسب على الحائط النهائي بحيث تدفع الهواء إلى داخل البيت، الشكل رقم (١٢ , ١٢) . ويُركب مصراع خلف المروحة أو المراوح لمقاومة التيار العكسي ولمنع سريان الهواء من خلال فتحة المروحة أثناء عدم التشغيل . و يُركب حاجز على قاعدة مقدمة المروحة لتوجيه الهواء إلى أعلى قليلاً، وذلك للتأكد من أن السرعة المرتفعة للهواء والمتولّدة من تصرف المراوح لا تصطدم بالنباتات مباشرةً . ويجب أن تحتوي المراوح على أغطية لأغراض الحماية من مياه الأمطار و لمنع



شكل (١٢ ,١٢). نظام تهوية باستخدام مراوح موجبة الضغط على الحائط النهائي

التصرف إلى داخل البيت. ويتم طرد الهواء من خلال مصاريع معلقة على الحائط النهائي المقابل أو الحائط الجانبي بحيث تفتح تلك المصاريع عند تشغيل المراوح.

ومن مميزات هذا النظام الاستمرارية في إضافة تهوية فعّالة حتى عند فتح الأبواب أو عند حدوث تسرب للهواء من خلال الغطاء؛ ومن الأمثلة أيضًا، عند بدأ تلف وثني طبقات البلاستيك أو عند كسر بعض الألواح الزجاجية. وتعتبر وحدات التبريد التبخيري المتكاملة، والتي تدفع الهواء إلى المنشأة نوعًا من أنواع الأنظمة الضاغطة.

ومن عيوب نظام التهوية الضاغط الحاجة على الأقل إلى ثلث حجم البيت الواقع في منطقة الذروة لأن يكون غير مشغول بالنباتات ليسمح بحيّز لخلط هواء

التهوية مع هواء البيت الداخلي الواقع خارج حيّز النبات، وذلك للحد من مشاكل انجرافات الهواء المحتملة[٤].

ويمكن تركيب مراوح الضغط والأغطية الملازمة ومصاريع منع التيارات العكسية بالنسبة للمنشآت التي تتراوح أطوالها من ١٥ إلى ٢٠ م تقريبًا على أحد الحوائط النهائية (الحائط المقابل لاتجاه الرياح) ومصاريع الطرد ذات الحواجز الآلية على الحائط النهائي المقابل. ويجب تركيب مراوح الضغط بالنسبة للمنشآت الطويلة على كل الحوائط النهائية للمنشأة مع وضع مصاريع الطرد في الجزء الأوسط للحوائط الجانبية. ويجب اختيار حجم مصاريع الطرد لتعمل على تزويد واحد متر مربع لكل ٣,٣ (م^{٣}/ ث).

ويجب تركيب أجهزة التحكم في درجة الحرارة (الثرموستات) بالقرب من مركز البيت أو جهة نهاية طرد الهواء من المنشأة.

ومن الواضح أن وسادة التبريد المألوفة والمركبة على الحائط سوف لاتعمل بكفاءة مع نظام المراوح الضاغطة بدون استعدادات خاصة مسبقة. فقد يكون من الضروري تركيب وسائد التبخير على الحائط الخارجي لحيّز محكم الغلق خلف المراوح؛ ولكن لم يعمل هذا النظام بكفاءة في الأماكن التي تمت فيها المحاولة[٩]. ويعتبر التراكم الحراري داخل الحيّز بين الوسائد والمروحة إحدى المشاكل الناجمة عن سطوع الشمس على الحيّز. وتكمن المشكلة الأخرى في عدم انتظامية توزيع الهواء البارد المتصرف بالمروحة. ففي الغالب ما تتكوّن بقع داخلية دافئة.

وبالنسبة لتلك الظروف حيث التبريد التبخيري ضروري وضغط التهوية مرغوب؛ فإنه يوصى باستخدام وحدات التبريد التبخيري المتكاملة. ويمكن الحصول على تلك الوحدات وتركيبها في نفس المناطق المرغوبة للمراوح الضاغطة. ونظراً لأنه يمكن التحكم في مضخة الماء في وحدات التبريد عن طريق فصل حركة المضخة عن محرك المروحة، فإنه يمكن استخدام تلك الوحدات لتزويد التهوية بدون تبريد في الأجواء المعتدلةوتزويد التبريد في الأجواء الحارة عند الحاجة.

مراوح الضغط المركبة على الحوائط الجانبية (Pressure Sidewall Fans)

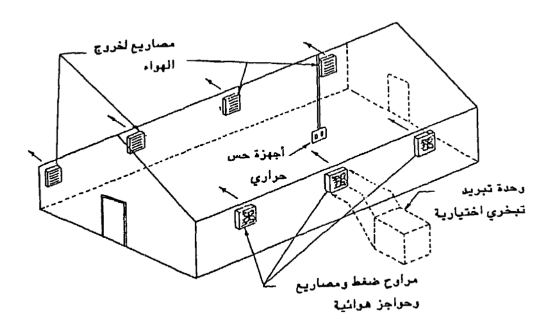
يعتبر نظام المراوح الضاغطة والمركبة على الحوائط الجانبية مماثلاً لنظام التركيب على الحائط النهائي الذي سبق وصفه باستثناء تركيب المراوح بطول الحائط الجانبي، الشكل رقم (١٣ , ١٢).

ويجب أن تركب المراوح بطول الحائط الجانبي على مسافات تساوي تقريبًا عرض المبنى وعلى ارتفاع مناسب بقدر المستطاع. ولابد من استخدام حواجز مائلة عند أسفل مقدمة المروحة لتوجيه تصرف المروحة إلى أعلى وبعيداً عن مستوى النباتات. و يزيد التصميم الجيد لهذا الحاجز من سحب وخلط وتوزيع للهواء بعيداً عن الحيّز المشغول بالنباتات، كما يتيح اتساقًا جيداً للظروف خلال حيّز نمو النبات. وقد وجد أنه من الضروري أو على الأقل من المرغوب وجود سقف أو سطح داخلي أملس يسمح بالحصول على أقصى اتساق.

ويمكن تركيب مصاريع الطرد على الحائط الجانبي المقابل للحائط الجانبي حيث المراوح مركبة أو يمكن تركيبها على نفس الحائط الجانبي بين المراوح. و يجب أن تركب أجهزة التحكم في درجة الحرارة (الثرموستات) بالقرب من منتصف البيت عند مستوى النبات كما سبق الوصف.

و يجب أن تعمل المراوح على مراحل بدءاً بالمروحة التي في المنتصف مع مصراع الطرد القريب من الحدود النهائية، ثم التقدم تبادليًا صوب كل نهاية للمنشأة بالنسبة لوضع المراوح والتقدم صوب المركز بالنسبة لوضع المصاريع.

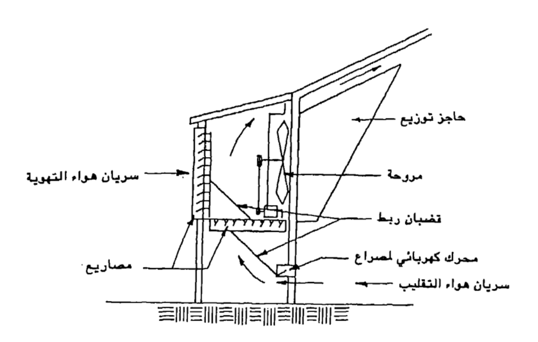
ويمكن استخدام نظام تهوية خاص، الشكل رقم (١٤ , ١٢)، لتزويد عملية تقليب للهواء مع نظم الضغط المركبة على الحوائط الجانبية[١٠]. و تعمل المروحة التي على الحائط الجانبي على دفع الهواء إلى أعلى صوب النبات وبطول السقف أو على السطح الداخلي الأملس بحيث يحدث توزيع وخلط وتقليب للهواء في نفس الوقت. وتحتوي المنطقة خلف المروحة على مصاريع تحكم هوائي ومسارات بحيث يحدث تقليب بنسبة ١٠٠٪ للهواء الداخلي أو دخول هواء نقي بنسبة ١٠٠٪، والذي يتم الحصول عليه عن طريق الفتح الكامل للمصاريع. و يتيح استخدام محرك كهربائي متغيّر السرعات وثرموستات من نوع مقياس لفرق الجهد



شكل (١٣ , ١٢). نظام تهوية باستخدام مراوح موجبة الضغط على الحائط الجانبي (يوضح إمكانية تركيب وحدة تبريد تبخيري وملحقاتها).

في الحصول على نسب خلط لانهاية لها من الهواء النقي وهواء التقليب بحيث تقع بين القيمتين السابقتين، مما يؤدي إلى استمرارية اتساق تهيئة البيئة. فيمكن عندما لا يتطلب الأمر تهوية استخدام مراوح ذات سرعتين أو مراوح متعددة السرعات لتزويد معدلات منخفضة من التقليب المستمر تعادل ٢٠ إلى ٣٠٪ من حجم البيت.

ويجب توفير متر مربع واحد من مساحة الفتحة بين حاجز التوزيع وسطح البيت المحمي لكل ٥ (م٣/ ث) من سعة المروحة، وذلك للحصول على أفضل نسبة خلط. ويجب أن تكون تلك النسبة- بالنسبة لمصاريع الطرد - متراً مربعاً واحداً لكل ٣,٣ (م٣/ ث) من سعة المروحة.



شكل (١٤ , ١٢). نظام تهوية-تقليب عن طريق تركيب مروحة-مصراع-حاجز على الحائط الجانبي.

وعامةً يجب تركيب الوحدات على مسافة من الحائط النهائي تعادل تقريبًا عرض البيت وعلى مسافات بطول الحائط لا تزيد على ضعف عرض البيت . ويتم اختيار حجم كل وحدة لتغطي معدل التبادل للتهوية المطلوبة لذلك الجزء من البيت. و تعمل نظم الضغط المركبة على الحائط الجانبي بكفاءة بالنسبة للبيوت ذات العرض المفرد مع وجود حوائط جانبية رأسية. ويمكن استخدام تلك النظم أيضًا بكفاءة مع البيوت المقسّمة من الداخل إلى حجرات. وتعتبر زيادة عدد الوحدات المطلوبة بالنسبة للمنشآت الكبيرة العيب الرئيسي المرتبط بتلك النظم.

نظم التهوية الطبيعية

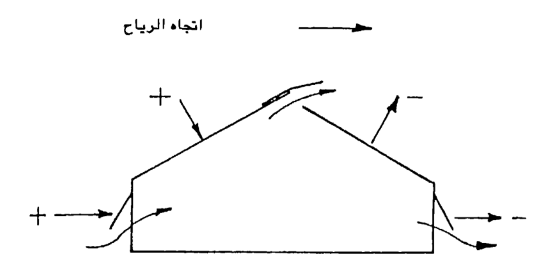
(NATURAL VENTILATION SYSTEMS)

تعتمد نظم التهوية الطبيعية على قوة طفو الهواء المسخن في رفع الهواء أو على ضغوط السرعات والقوى الناشئة بواسطة الرياح. فيصبح الهواء عند تمدده نتيجة التسخين بالطاقة الشمسية أو أي مصادر أخرى داخل البيت المحمي أقل كثافةً ويرتفع إلى أعلى. وتسمح فتحات الحافة العلوية بتسرب الهواء الدافيء وإحلاله بهواء بارد يدخل من خلال فتحات تهوية جانبية منخفضة. ويعتبر اختيار حجم الفتحات مهمًا للغاية إذا أريد الحصول على تهوية فعّالة.

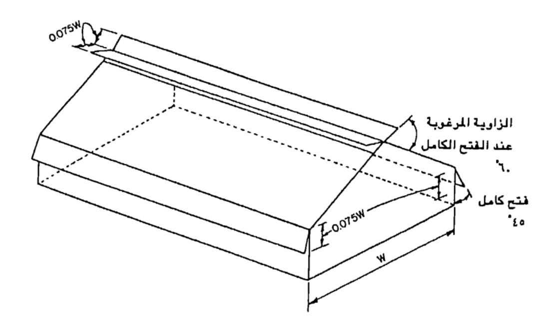
وسوف تكون التهوية أكثر فعالية عندما تتولد نسمات هوائية أو عند هبوب الرياح؛ نظرًا لأن ضغوط وقوى السرعة تكون أكبر بكثير من قوى طفو الهواء الساخن. ويوضح الشكل رقم (١٥ , ١٢) قوى الضغوط الموجبة والسالبة الواقعة على أسطح مبنى، كما يوضح كذلك أهمية وضع فتحات التهوية على الحائط الجانبي أو الحافة العلوية بالنسبة للتهوية بمساعدة الرياح. وتعمل الضغوط السالبة المتولدة على أجزاء من سطح البيت والحائط الجانبي غير المتقابلين مع الرياح على سحب الهواء من المبنى، بينما يعمل الضغط الموجب المتولد على الأجزاء المقابلة للرياح على تزويد الهواء للداخل.

مهْوايات الحافة العلوية والحائط الجانبي (Ridge and Sidewall Ventilators)

يجب أن تكون مساحة كل من فتحات الحائط الجانبي وفتحات الحافة العلوية على الأقل ١٥٪ من مساحة الأرضية، وذلك للحصول على تبادل هوائي أمثل مع التهوية الطبيعية. و يوصى باستخدام مساحة تعادل ٣٠٪ من مساحة الأرضية [١]. ويجب أن يكون حجم فتحات الحافة العلوية وفتحات التهوية الجانبية متساويًا تقريبًا. ونظريًا يجب أن تُفتح فتحات السطح بحيث تعمل زاوية فتحة السطح عند الفتح الكامل ٦٠ درجة عن الوضع الأفقي للسطح، الشكل رقم (١٦ , ١٢)[١].



شكل (١٥-١٢). زيادة التهوية الطبيعية في منشأة نتيجة ضغوط الرياح



شكل (١٦ , ١٢). الأحجام الموصى باستخدامها لكل من فتحات الحافة والحائط الجانبي بالنسبة للتهوية الطبيعية.

ويمكن الحصول على معدلات تهوية كافية مع تحكم جيد في درجة الحرارة للعديد من الأجواء عن طريق اختيار حجم مناسب للسطح والفتحات الجانبية ومع استعمال الضبط الملائم. ويعتبر معدل تبادل الهواء الذي يمكن الحصول عليه في معظم البيوت ذات التهوية الطبيعية دالة في كل من سرعة واتجاه الرياح وموقع وحجم فتحة التهوية، الجدول رقم (١٢,٣)[١١]. وقد كانت مساحة فتحة التهوية في هذه الدراسة تعادل ٢٧٪ من مساحة الأرضية. وكما هو واضح، فإن معدلات التهوية لا تقترب من المعدل المرغوب (٠,٧٥ إلى ١,٠ تبادل هوائي في الدقيقة) في حالة توافر فتحات السطح فقط، حتى عند سرعات للرياح ١٠ (كم/ ساعة). ويقترب معدل التهوية في اليوم الهادىء إلى ٤١ تبادلاً هوائيًا في الساعة (٠,٦٨ تبادل هوائي في الدقيقة) في حالة استخدام كل من الفتحة الجانبية وفتحة الحافة العلوية. و يعتبر ذلك أقل طفيفًا من معدل التهوية الطبيعي والموصى باستخدامه.

وكما هو واضح، لايمكن استخدام التبريد بالوسائد مع تلك النظم. وتوجد أيضًا بعض المشاكل التي تحدث عند هبوب الرياح على مبنى في اتجاه محوري؛ نظرًا لدخول الهواء من الفتحات الموجودة عند الحائط النهائي والمواجهة للرياح مع تجمع هواء البيت الحار عند الحائط النهائي الآخر وغير المقابل للرياح. ولا يعتبر ذلك مشكلة كبيرة إذا تم الضبط الملائم لحجم فتحة الهواء عند الجانب المواجه وغير المواجه لاتجاه الرياح.

وتعتبر صعوبة وتكلفة التحكم الآلي في الفتحات العيب الرئيسي في نظام التهوية الطبيعية، وعليه فإنه في الغالب ما يتم التحكم في تلك الفتحات يدويًا. ويعني ذلك وجوب المحافظة والاهتمام اليومي من العاملين على مدار فترة إنتاج المحاصيل. ونجد بالنسبة للعديد من البيوت التي تستخدم الوحدات الميكانيكية أن فتحات الحافة العلوية تُزوّد بمحرك كهربائي، بينما تعمل الفتحات الجانبية يدويًا عندما يكون الحد الأقصى من التهوية هو المطلوب.

جدول (٣، ١٢). تأثير سرعة الرياح ووضع المهْوايات على تبادل الهواء في البيت المحمي

وضع المهْواة سطح	أجناب	سرعة الرياح كم/ ساعة	التبادل الهوائي في الساعة
مقفول	مقفول	٢١,٦	٢,٩
جانب مأوى ١\٤ مفتوح	مقفول	٢١,٤	٩,١
فتح كامل للجانبين	مقفول	٤,٣	١٤,٠
" "	مقفول	٩,٧	٢٠,٠
" "	مقفول	١٠,٥	٣٤,٠
" "	مفتوح	٢,٣	٤١,٠
" "	مفتوح	٣,١	٤٥,٠

وقد يحدث نتيجة أعطال ميكانيكية تلف إنشائي (كسر زجاجي مثلاً) راجع من استمرار دوران بعض أجزاء الوحدة بينما بقية الأجزاء لاتعمل، وعلى ذلك تعتبر مراجعات الأمان أمراً حيوياً. ولاتعمل نظم تشغيل فتحات التهوية بكفاءة مع البيوت المشيّدة من الخشب.

تصميم نظام تهوية محدَّد

(DESIGN OF SPECIFIC VENTILATION SYSTEM)

يتضمن تصميم نظام تهوية أربع وظائف: إيجاد معدل التبادل الهوائي (سعة المروحة) (الفصل الحادي عشر)، اختيار وتصميم نظام توزيع الهواء (الفصل الثاني عشر)، اختيار المركبات الخاصة بنظام توزيع ومعاملة الهواء (الفصلان الرابع والثاني عشر)، واختيار أجهزة وأدوات التحكم الملائمة للتهوية (الفصلان الرابع والثاني عشر). ولابد وأن تجمع وتركّب مركبات النظام مع الأساسيات المسرودة في هذا

الكتاب ؛ و لكن لابد أيضًا من الأخذ في الاعتبار للمتطلبات الفريدة الخاصة بالمركبات المختارة .

و يجب - بمجرد التصميم لنظام التهوية - عمل عقد توريد وتركيب مع ممثل أو بائع لمركبات النظام. ويجب الحصول على المطبوعات والأدلة الخاصة بالأجهزة عند الضرورة. ويجب أيضا عند اختيار مركبات النظام الأخذ في الاعتبار لمدى توافر أجزاء الإصلاح والخدمة.

المراجع

References

1 ASAE Engineering Practice. 1981. Heating, ventilating and cooling greenhouses. ASAE EP406, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

2 National Greenhouse Manufacturers Association. 1962. Standards for ventilating and cooling greenhouses. The Exchange. July.

3 Augsburger, N. D., H. R. Bohanon, and J. L. Calhoun. 1970. The greenhouse climate control handbook. Acme Engineering and Manufacturing Corp., Muskogee, OK.

4 Walker, J. N. and G. A. Duncan. 1974. Greenhouse ventilation systems. Cooperative Extension Service, AEN-30, University of Kentucky, College of Agriculture, Lexington, April.

5 Roberts, W. J. and R. Chency. A greenhouse vent controller. ASAE Paper No. 74-4033, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

6 Walker, J. N. and G. A. Duncan. 1975. Air circulation in greenhouses. Cooperative Extension Service, AEN-18, University of Kentucky, College of Agriculture, Lexington, December.

7 Koths, J. S. 1967. Air movement within greenhouses. Proceedings of Greenhouse Construction and Environmental Control Seminar, U. of Mass., Amherst, January.

8 Walker, J. N. and G. A. Duncan. 1974. Cooling greenhouses. Cooperative Extension Service, AEN-28, University of Kentucky, College of Agriculture, Lexington, March.

9 Walker, J. N. and D. J. Cotter. 1968. Cooling of greenhouses with various water evaporation systems. TRANSACTIONS of the ASAE 11(1):116-119.

10 Walker, J. N. and D. J. Cotter. 1968. Ventilation of mouvement de l'air dans les serres. IV' Congres International due Chauffage et de la Climatisation, 9 rue La Perouse, Paris—16'; Industries Thermiques Et Aerauliques. No. 689, pp. 695-704. Decembre.

11 Whittle, R. M. and W. J. C. Lawrence. 1960. The climatology of glasshouses, II. Ventilation. J. Agric. Engng. Res. 5(1):36-41.

12 Roberts, W. J. 1969. Heating and ventilating greenhouses. Cooperative Extension Service, Cook College, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, August.

الفصل الثالث عشر

تهوية مخازن المحاصيل البستانية*

(VENTILATION FOR HORTICULTURAL CROP STORAGE)

• التنفس • النتح • معاملات النتح المتحصّل عليها من الأبحاث • اعتبارات معاملة الهواء • تطبيقات عملية على تصـمـيم نظام تهـوية • مثال عن نظام تهوية الكرنب • مثال عن نظام تهوية البطاطس

يُخزّن العديد من المنتجات الزراعية بعد الحصاد لأوقات متفاوتة. ويتغيّر مستوى التحكم البيئي الواجب توافره أثناء فترة التخزين للمحافظة على جودة مقبولة للمنتج تغيّرًا كبيرًا. ويتطلب بعض المنتجات مستويات مرتفعة للغاية من تهيئة البيئة والتي قد تملي إجراء عملية تبريد أو التحكم في جوالتخزين. والتخزين في حد ذاته خارج نقاش هذا الفصل. وبالمثل لم يتم تغطية تخزين محاصيل الحبوب حيث يعتبر تجفيف المحصول المشكلة التصميمية الأولى. ولكن يوجد العديد من محاصيل الغذاء التي تحصد في نهاية الصيف أو بداية الخريف حيث درجات حرارة التبريد هي الأكثر شيوعًا، ومنها البطاطس والكرنب والبصل التي يمكن تخزينها بكفاءة وأمان في مخازن مهوّاة. وتعرّف المخازن المهوّاة على أنها المنشآت التي تُدفع فيها اختياريًا

---

* دينيس إي. بافينجتون : جامعة فلوريدا - جينسفيل

لويس د. أولبرايت : جامعة كورنيل - آثاكا

طودهير ك. ساستري : جامعة ولاية بنسيلفانيا

لويس أ. ستشابر : مركز خدمة الأبحاث الزراعية - وزارة الزراعة الأمريكية

رونالد ب. فيري : جامعة كورنيل - آثاكا

درجة حرارة الهواء الخارجية إلى حيّز التخزين عندما يكون كل من درجة حرارة الجو الخارجي والرطوبة في المدى المرغوب.

ويتضمن هذا الفصل تحديداً مناقشات عن التنفس والنتح وقيمًا جدولية عن حرارة تنفس الفاكهة والخضر عند درجات حرارة متعددة وقيمًا جدولية عن ظروف التخزين الموصى باستخدامها وبيانات عن خواص التخزين ومناقشة عن الاعتبارات الخاصة بمعاملة الهواء، وأخيراً أمثلة توضح الخطوات والاعتبارات التصميمية لنظم التهوية. وتوجد أيضًا أمثلة عن تخزين الكرنب والبطاطس الأيرلندي.

وتحظى المحافظة على جودة المنتَج في مخازن الفاكهة والخضر الطازجة بأكبر وأعظم اهتمام. ولابد أيضًا ملاحظة أن تلك السلع – حتى بعد الحصاد- لا تزال حيّة ومستمرة في العمليات الكيميائية المرتبطة بخصائص تنفس كل الكائنات الحية.

ولقد أصبح من الضروري توفير بيئة تخزين ملائمة لزيادة فترة التخزين مع المحافظة على جودة الخضر والفاكهة والعمليات الحيّة. وتستهلك تلك العمليات الحيّة بانتظام السلعة المخزنة، كما قد يحدث وقف لكل الوظائف الفيسيولوچية. ويعتبر توفير بيئة تساعد على أقل معدل من التفاعلات الكيميائية للمحافظة على المادة المخزنة حيّة بدون إحداث أي تلف أو التعجيل بفساد السلعة من الحلول المفضلة. وتتضمن التهيئة الكاملة للبيئة التحكم في كل من درجة الحرارة والرطوبة والضغط وثاني أكسيد الكربون والأكسجين. ولكن لابد وأن يكون مستوى التحكم المتحصّل عليه كافيًا للمحافظة على حالة من الاستقرار أو الخمول، وذلك للحد من التغيّرات الفيسيولوچية أثناء فترة التخزين. ويمكن تبرير الاستخدام لتحكم بيئي متكامل بالنسبة لبعض المحاصيل خاصةً الحساسة منها أو الضعيفة.

وتساهم الأوبئة والعديد من الكائنات الحيّة الدقيقة أيضًا في عدم القدرة على التحكم في جودة المنتج المخزن خاصةً إذا لم تتم عملية فحص دوري للمنتج. فيمكن- بالنسبة للحبوب- أن تُساعد المحتويات الرطوبية المنخفضة مع درجات حرارة باردة على التحكم في نمو الحشرات والكائنات الدقيقة. ولكن لابد من بقاء الرطوبة مرتفعة بالنسبة للعديد من المحاصيل البستانية، وذلك لمنع حدوث الجفاف.

ويمكن استخدام العديد من الأبخرة والمبيدات الحشرية في حالات محددة عندما تكون مستويات الرطوبة والحرارة المنخفضة غير مرغوبة .

وتتأثر الظروف البيئية داخل مخزن منتجات يستخدم تهوية بعدة عوامل : (أ) الظروف الجوية الخارجية ؛ (ب) إنشاءات المبنى ؛ (جـ) نظم التحكم البيئي خلال المبنى ؛ و(د) الحرارة والرطوبة والأبخرة المتولّدة من المنتج المخزّن . ويحتاج المهندس عند تصميم نظم تهوية البيئة لمنتَج مخزّن إلى تقديرات لمتطلبات محددة لكل سلعة مطلوب تخزينها .

وتتضمن البيانات الرئيسية المطلوبة لتصميم مخازن سلعية كلاً من درجة حرارة التخزين والرطوبة وتركيب الهواء ومعدلات التهوية . ويحتاج أيضًا لمعرفة معدلات النتح والتنفس لكل سلعة كدالة في ظروف التخزين البيئية وخصائص كل منتج على حدة . وغالبًا ما تحتاج الزراعات المختلفة حتى ولو كانت لنفس المحصول إلى متطلبات مختلفة ، وهكذا . وكقاعدة عامة ، يُفضّل قبل تحديد نظام التخزين أن تتم المراجعة مع وكالات الإرشاد التعاونية المحلية للحصول على المتطلبات الدقيقة بالنسبة لمكان وكل محصول مطلوب تخزينه .

ويعتبر كل من التنفس والنتح من العوامل الأساسية لتحديد جودة منتج من الفاكهة أو الخضر بعد فترات تخزين محددة ، وذلك بفرض أن المنتجات المخزّنة خالية نسبيًا من أية خدوش سطحية أو كدمات أو أمراض أو أي نوع من أنواع الفساد التي قد تساعد على انتشار الكائنات العضوية المتعفنة خلال كل المنتجات المخزّنة . وقد تزيد كل من الخدوش السطحية والكدمات والاحتكاكات من فقد الرطوبة من المنتجات حتى ٤٠٠٪ بالمقارنة بالمنتَج غير المعاب . وغالبًا ما تحدث التلفيات السطحية نتيجة لخطأ ما في عملية الحصاد أو في نظم المعاملة والنقل . ونجد أن التنفس والنتح مع الحمل الحراري الحقلي من العوامل الأساسية التي تؤثر على الحمل الحراري داخل نظام تخزيني تبريدي .

التنفس

(RESPIRATION)

يعتبر التنفس من أكثر العمليات الكيميائية أهميةً للمنتَج بعد الحصاد . والتنفس عبارة عن تفاعل كيميائي حيث تتأكسد هيدروكربونات (سكريات) أنسجة المنتجات بواسطة الأكسجين من الوسط المحيط لإنتاج منتجات متحللة، والتي يتبعها في الحقيقة التحول إلى غاز ثاني أكسيد الكربون وماء. ويكون التفاعل الكيميائي المبسّط والمتزن للتنفس كالآتي:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \dashrightarrow 6CO_2 + 6H2O + 673\ Kcal \qquad (١٣,١)$$

ويعتبر التنفس عملية أكسوثيرميك (exothermic)، أي مصحوبة بإطلاق حرارة، وتعني أن الطاقة تتسرب في صورتها الحرارية عند حدوث التفاعلات. وتمثل الحرارة المتسربةوالمتولّدة من عمليات التنفس جزءًا من الطاقة الأصلية المخزنة في النبات أثناء عملية البناء الضوئي[١]. وكلما زادت سرعة التفاعل، كلما زادت كمية الحرارة المتولدة لوحدة الزمن. ويتغيّر معدل التفاعل بتغيّر نوع المنتجات المخزنة، ولكنه يتأثر أساسًا بدرجة حرارة المنتج. ويحتوي الجدول رقم (١ , ١٣) على معدلات تقريبية لحرارة التنفس بالنسبة للعديد من الفاكهة والخضر عند درجات حرارة تخزين متغّيرة[٢].

ودائمًا ما يحتفظ بالمنتجات الزراعية المخزنة في حالة فعّالة، وهكذا فالتنفس عبارة عن عملية فيسيولوجية مستمرة لابد من أخذها في الاعتبار عند تصميم المخازن. ولابد من توافر بعض الأكسجين الجوي وإزالة كل من الحرارة والماء وثاني أكسيد الكربون المتكون. ويُتوقع أيضًا تغيّرات أخرى؛ فغالبًا ما تتضمن التغيّرات الكيميائية فعلاً إنزيميًا (خميريًا). ويعتبر العديد من هذه التغيّرات الإنزيمية- مثل تحوّلات الدهون والكربوهيدرات إلى نواتج نهائية من الأيْض- تغيّرات غير مرغوب فيها. وقد يكون من المرغوب بعد فترات محددة حدوث تغيّرات محددة للإنزيمات. ومن أمثلة ذلك، التغيّرات الهرمونية لبذور البطاطس التي تساعد على شطأة البذرة في الوقت المناسب. ولكن يعتبر الميل إلى الشطأ قبل ميعاد الإنبات أمرًا غيّر مرغوب فيه، ولابد للمحصول وأن يكون في حالة سكون حتى تثبط عملية الشطأ.

جدول (١ ,١٣). حرارة التنفس الخاصة بالخضر والفاكهة الطازجة عند درجات حرارة متغيرة[٢]

السلعة	جول/ (كجم. ساعة) عند درجة الحرارة الموضحة				
	صفر°م	٥°م	١٥°م	٢٠°م	٢٥°م
تفاح	٢٤ - ٢٤	٥٣ - ٧٨	١٤٥ - ٣٢٩	١٧٩ - ٣٧٣	-
مشمش	-	٧٨ - ٤٠٢	٤٠٢ - ٧٣٢	٦٤٠ - ١٣٣٠	-
خرشوف	٢٦٧ - ٤٨٠	٣٧٣ - ٦٤٠	١٠١٠ - ١٥٥٠	١٤٦٠ - ٢٤٩٠	١٤٦٠ - ٣٢٠٣
الهليون	٣٠٠ - ٦٤٠	٦٣٠ - ١١١٩	١٢٤٠ - ٢٥٠٠	١٨٦٠ - ٢٨٧٠	٩٦٠ - ٥٠٧٠
الأفوكاتو	-	٢١٣ - ٣٢٠	٦٥٩ - ١٦٧٠	٧٨٥ - ٣٧٠٠	١٢٥٠ - ٤٥٦٠
موز، أخضر	-	-	٢٣٣ - ٢٤٧	٣٤٩ - ٣٦٨	-
موز، ناضج	-	-	٢٦٧ - ٨٠٠	٣٤٩ - ١٥١٠	٥٣٣ - ٢٦٢٠
فاصوليا	١١١ - ٣٢٠	٢٠٨ - ٣٨٣	١٠٧٠ - ١٣٢٠	١٤١٠ - ١٩٠٢	-
فاصوليا مقشرة	١٨٩ - ٣٧٣	٣١٠ - ٦٤٩	-	٢٥٠ - ٢٨٣٠	-
بنجر	١٣١	١٩٩	٣٤٩	-	-
توت :					
توت أسود	١٨٦ - ٢٠٨	٣٣٤ - ٤٣٦	-	١٦٦٠ - ٢٠٥٠	-
توت كركي	٢٩ - ٣٤	٤٤ - ٤٨	-	١١٦ - ١٩٤	-
المشمش	٧٣ - ٩٢	١٣١ - ١٤٥	٢٣٣ - ٣٤٤	-	-
توت العليق	١٨٩ - ٢٦٧	٣٢٩ - ٤١٢	٨٧٧ - ١٠٨٠	-	-
فراولة	١٣١ - ١٨٩	١٧٤ - ٣٥٤	٧٥٦ - ٩٨٤	١٠٩٠ - ٢٠٩٠	١٨٠٠ - ٢٢٠٥
بركولي	١٩٩ - ٢٢٨	٣٦٨ - ١٧١٠	١٨٥٠ - ٣٦٢٠	٢٩٧٠ - ٣٦٣٠	٩٧٠ - ٩٣٨٠

تابع جدول (١٣,١).

السلعة	صفر م°	٥ م°	١٥ م°	٢٠ م°	٢٥ م°
	جول/ (كجم. ساعة) عند درجة الحرارة الموضحة				
الكرنب المسلوق	١٠٧ - ٣٢٠	٢٣٣ - ٥١٤	٦٨٣ - ١٤٥٠	٩١٦ - ١٨٣٠	-
كرنب	٤٨ - ٦٨	٨٢ - ١٣١	١٩٩ - ٢٧٦	٢٩٦ - ٥٢٣	٥١٨ - ٦٧٨
جزر	١٠٢ - ٢١٨	١٣٦ - ٢٨١	٢٧٦ - ٥٧٢	٤٨٩ - ١٠١٠	-
قرنبيط	١٧٤ - ٢٠٤	٢٠٤ - ٢٣٣	٤٥٥ - ٥٢٣	٨٠٠ - ٩١٦	٨٩٦ - ١٤٩٠
الكرفس	٧٨	١١٦	٣٩٧	٦٨٨	-
الكراز، حامض	٦٣ - ١٤١	١٣٦ - ١٤١	٢٩١ - ٥٣٣	٤١٧ - ٥٣٣	٥٦٧ - ٧٥٦
الكراز، حلو	٤٤ - ٥٨	١٠٢ - ١٥٠	٢٦٧ - ٤٨٠	٣٠٠ - ٣٣٩	-
الليمون:					
الليمون الهندى (أو الجريب فروت)	-	٣٤ - ٦٣	١٠٧ - ١٩٤	١٣٦ - ٢٧٦	٢٠٤
ليمون حامض	٢٤ - ٤٤	٢٩ - ٩٢	١١١ - ٢٤٢	١٩٩ - ٢٧١	٢١٨ - ٣٠٠
الليم، فارس	-	١٥ - ٦٣	٦٣ - ١١١	٧٣ - ١٩٩	١٦٠ - ٤٨٥
برتقال	١٩ - ٥٣	٣٩ - ٧٨	١٣٦ - ٢٥٢	٢٣٧ - ٣٦٣	٢٦٣ - ٤٣١
ذرة، حلوة	٣٢٠ - ٥٤٨	٤٥٥ - ٨٨٧	١٦١٠ - ١٨٦٠	٢٨٦٠ - ٣٣١٠	٣٠٠٠ - ٤٤٠
خيار	-	-	١٦٠ - ٣٥٤	١٥٠ - ٥١٤	٢٠٤ - ٥٨٦
تين، طازج	-	١١٦ - ١٤١	٥٢٣ - ٦٧٤	٦٠٦ - ١٠١٠	٩٠٦ - ١١٣٠
ثوم	٤٤ - ١٥٠	٩٧ - ٣٥٤	١٥٠ - ٣١٠	١٤١ - ٢٦٧	-
عنب أمريكي	٢٩	٥٨	١٧٠	٣٤٩	٤١٢
عنب، ڤينينيرا	١٥ - ٢٤	٣٤ - ٦٣	١٠٧ - ١٢٦	-	٢٦٧ - ٣٢٠

تابع جدول (١٣,١).

السلعة	صفر°م	٥°م	١٥°م	٢٠°م	٢٥°م
	چول/ (كجم . ساعة) عند درجة الحرارة الموضحة				
الكرات	١٧٩-١٠٢	٣١٠-٢٠٨	١٢٥٠-٨٨٢	-	١٢٦٠-١١٤٠
خس، رأس	١٧٩-٦٣	٢١٣-١٤١	٤٨٠-٣٣٩	٦٤٠-٥٤٣	٩٧٤-٧٨٠
خس، ورق	٢٩١-٢٠٤	٣٦٨-٢٥٧	٧٩٠-٥٤٨	١٢٦٠-٨٧٧	١٨٤٠-١٢٨٠
مانجو	-	٢٣٣-١٠٧	٤٨٠	١٦١٠-٨٠٠	١٢٨٠
بطيخ :					
كنتالوب	٦٣-٥٣	١٠٧-٩٢	٤١٢-٣٥٩	٦٨٨-٤٧٥	٧٦١-٦٦٤
عرق العسل	-	٥٣-٣٤	١٧٠-١٢٦	٢٨٦-٢١٣	٣٦٨-٢٨١
البطيخ الأحمر	-	٤٤-٣٤	-	٣٣٧٠-٢٨١٠	-
عيش الغراب	٤٦٥-٣٠	٧٥٦	-	٣٣٧٠-٢٨١٠	-
بصل، جاف	٣٤-٢٩	٣٩-٣٤	١٢١-١١١	٢٠٤-١٥٠	٣١٠-٢٩١
بصل، أخضر	٢٣٧-١١١	٧٢٧-١٨٤	١٠٤٠-٧٠٣	١٦٦٠-٨٣٨	٢٢٣٠-١٠٤٠
البامية	-	٦٢٥-٥٦٢	١٦٣٠-١٤٧٠	٢٩٢٠-٢٦٤٠	٣٨٦٠-٣٤٩٠
زيتون	-	-	٤١٧-٢٣٣	٥٢٣-٣٩٢	٦٤٩-٤٣٦
البيابا	-	٦٣-٤٤	٢٣٣-١٦٠	-	٩٤٠-٤١٧
الجزر الأبيض	١٦٥-١٢٦	١٨٩-٩٢	٤٥٥-٣٤٤	-	-
خوخ	٦٨-٤٤	٩٧-٦٨	٤٥١-٣٥٤	١٠٩٠-٦٣٠	١٣٠٠-٨٦٧
كمثرى ، بارتلت	٧٣-٣٤	١٠٧-٥٣	٦٤٠-١٦٠	٧٤٦-٣٢٠	-
كمثرى ، كيفر	٢٤-١٩	-	٢٥٧-١١٦	٢٩٦-١٦٥	٣٠٥-٢٠٨

تابع جدول (١٣,١).

السلعة	جول/ (كجم. ساعة) عند درجة الحرارة الموضحة				
	صفرْم	٥ْم	١٥ْم	٢٠ْم	٢٥ْم
بسلة خضراء، قرون					
بسلة خضراء، مقشرة	٣٢٥ - ٤٩٩	٥٨٦ - ٨١٤	١٩٠٠-٢١٦٠	٢٦٢٠-٣٨٥٠	٣٦٦٠-٤٠٢٠
فلفل	٥٠٤ - ٨٠٤	٨٤٣ - ١٠٤٠	-	٣٧٢٠-٥٩٣٠	-
أناناس	-	٥٣ - ٢٢٨	٢١٣ - ٦١١	٢٤٢ - ٦٩٣	٣٨٣ - ٧٩٠
بطاطس، غير ناضجة	-	١٥ - ٢٤	١٤١ - ١٩٤	٢٥٧ - ٤٢٦	٣٧٨ - ٦٦٩
بطاطس، ناضجة	-	١٢٦	١٤١ - ٣٢٩	١٩٤ - ٤٨٠	-
سبانخ	-	٢٩ - ٩٢	٦٣ - ١٢٦	٧٨ - ١٧٠	-
قرع، الجوز الأزرق	٢٠٤ - ٢٣٧	٣٦٨ - ٦١٥	١٤٣٠-٢٣٨٠	١٨٤٠-٣٠٦٠	-
	-	-	-	-	٧٠٣ - ١٣٠٠
قرع، عنق أصفر	١٢٦ - ١٣٥	١٥٠ - ١٩٩	١٥٠ - ١٩٩	٩٠٦ - ١٠٤٠	-
بطاطا، غير معالجة	-	-	٣٠٥	-	٥٧٧ - ٧٨٠
بطاطا، معالجة	-	-	٢٠٨ - ٢٥٧	-	-
طماطم ناضجة					
خضراء	-	٥٣ - ٨٧	١٧٤ - ٣٠٠	٣٠٠ - ٤٤١	٣٦٨ - ٥٤٣
طماطم ناضجة	-	٦٣	٢٥٧ - ٣١٠	٢٥٧ - ٤٧٠	٣٢٠ - ٥٥٧
لفت	٩٢	١٠٢ - ١٠٧	٢٢٨ - ٢٥٧	٢٥٧ - ٢٧٦	-
الحُرف (بقلة مائية)	٢٠٨ - ٢٨١	٤٦٥ - ٥١٨	١٧٦٠-٢١٨٠	-	-

ويزداد معدل التنفس بالنسبة لأي منتج من ضعفين إلى ثلاثة أضعاف عند كل ١٠ °م زيادة في درجة الحرارة. ويوجد لدى التفاعل التنفسي في المصطلحات الكيميائية (Q_{10}) تقريبًا من اثنين إلى ثلاثة. فعلى سبيل المثال، نجد أن التفاحة التي عند ١٠ °م تتنفس حوالي ثلاثة مرات أسرع من التفاحة عند صفر °م. ونجد أن التفاحة عند درجه حرارة ٢٠ °م تتنفس حوالي ثلاث مرات أسرع من التفاحة عند ١٠ °م.

وعامة ترتبط فترة التخزين ارتباطًا عكسيًا مع حرارة التنفس. فعلى سبيل المثال، نجد أنه يوجد لدى القرنبيط مع حرارة تنفس مرتفعة للغاية فترة تخزين حوالي من ١٠ إلى ١٤ يومًا فقط، وذلك بالمقارنة باللّفت - منتَج ذومعدل تنفسي منخفض- الذي يوجد لديه فترة تخزين من ٤ إلى ٥ أشهر. ويوضح الجدولان رقما (٢, ١٣) و(٣, ١٣) ظروف التخزين البيئية وفترة التخزين الموصى باستخدامها لكل من الفاكهة والخضر[٢،٣]. وقد تم حساب معدلات التبادل الهوائي المطلوب لكل منتَج من معدلات التهوية المنشورة لمنع تراكم الإيثيلين وغاز ثاني أكسيد الكربون وغازات أخرى. وتوجد بيانات إضافية وأكثر تفصيلاً عن منتجات أخرى متوافرة في المجلة (Sea-Land Service, Inc.)[3].

وتعتبر درجات حرارة المنتجات الزراعية حرجة منذ لحظة الحصاد وخاصةً عند بدء ظهور فساد ما بعد الحصاد. وقد يؤدي تأخير عملية التبريد عدة ساعات لبعض المنتجات السريعة الفساد إلى تلف لايمكن التغلب عليه بصرف النظر عن المعاملات الجيدة بعد ذلك[١].

وغالبًا ما تتعارض درجات الحرارة المطلوبة لأفضل نمو وتطور للكائنات الحيّة الفاسدة مع درجات الحرارة الحقلية أثناء حصاد الخضر والفاكهة. وقد تلتهم الكائنات الحيّة الفاسدة المحصول بسرعة إذا لم يتم معاملة المحصول وتبريده سريعًا. ويعتمد تأثير درجات الحرارة المنخفضة الكابحة لهذه الكائنات على نوع الكائن الحي الموجود. وتوجد كائنات حيّة تستمر في النمو حتى عند درجات حرارة أقل من صفر °م، كما توجد كائنات حيّة أخرى خاملةً كليًا حتى عند درجات حرارة مرتفعة نسبيًا.

جدول (٢ ,١٣). درجات الحرارة والرطوبة النسبية الموصي باستخدامهما وفترة التخزين التقريبية وأعلى نقطة تجمد والمحتوى المائي والحرارة النوعية والتبادل الهوائي المطلوب للفاكهة الطازجة في المخزن[٣,٢].

السلعة	درجة الحرارة، م	الرطوبة النسبية، ٪	فترة التخزين التقريبية	أعلى نقطة تجمد، م	المحتوى المائي، ٪	الحرارة النوعية ك. جول \ كجم. م	متطلبات التبادل الهوائي، م٣ \ (١٠٠٠ كجم. ساعة)
التفاح	-١ - ٤	٩٠	٣ - ٨ شهور	-١,٥ْم	٨٤,١	٣,٦٤	٦,٦
المشمش	-١ - صفر	٩٠	١ - ٢ اسبوع	-١,١ْم	٨٥,٤	٣,٦٨	٦,٦
الأفوكاتو	٤ - ١٣	٨٥-٩٠	٢ - ٤ اسبوع	-,٣	٦٥,٤	٣,٠١	٦,٦
موز	١٣ - ١٤	٩٠-٩٥		-,٨	٧٤,٨	٣,٣٥	٦,٦
توت :							
توت أسود	-١ - صفر	٩٠-٩٥	٢ - ٣ يوم	-,٨	٨٤,٨	٣,٦٨	١,٤
توت أزرق	-١ - صفر	٩٠-٩٥	اسبوعين	-١,٣	٨٢,٣	٣,٦	١,٤
توت بري	٢ - ٤	٩٠-٩٥	٢ - ٤ شهور	-,٩	٨٧,٤	٣,٧٧	١,٤
الكشمش	-١ - صفر	٩٠-٩٥	١ - ٢ اسبوع	-١	٨٤,٧	٣,٦٨	١,٤
توت الندى	-١ - صفر	٩٠-٩٥	٢ - ٣ يوم	-١,٣	٨٤,٥	٣,٦٨	١,٤
ثمر الخمان	-١ - صفر	٩٠-٩٥	١ - ٢ اسبوع	-	٧٩,٨	٣,٥٢	١,٤
الريباس	-١ - صفر	٩٠-٩٥	٢ - ٤ اسبوع	-١,١	٨٨,٩	٣,٨١	١,٤
توت لوغان	-١ - صفر	٩٠-٩٥	٢ - ٣ يوم	-١,٣	٩٣	٣,٦	١,٤
توت العليق	-١ - صفر	٩٠-٩٥	٢ - ٣ يوم	-١,١	٨٠,٦	٣,٥٦	١,٤
الفراولة	صفر	٩٠-٩٥	٥ - ٧ يوم	-,٨	٨٩,٩	٣,٨٥	٢,٧
كراز، حامض	صفر	٩٠-٩٥	٣ - ٧ يوم	-١,٧	٨٣,٧	٣,٦٤	١,٤
كراز، حلو	-١	٩٠-٩٥	٢ - ٣ اسبوع	-١,٨	٨٠,٤	٣,٥٢	١,٤
جوز الهند	صفر - ٢	٩٠-٩٥	١ - ٢ شهر	-,٩	٤٦,٩	٣,٤٣	صفر

تابع جدول (٢ ,١٣).

السلعة	درجة الحرارة، م	الرطوبة النسبية، ٪	فترة التخزين التقريبية	أعلى نقطة تجمد، °م	المحتوى المائي، ٪	الحرارة النوعية ك. چول\كجم. °م	متطلبات التبادل الهوائي، م٣\(١٠٠٠ كجم. ساعة)
بلح	صفر	٧٥	٦ - ١٢ شهر	-١٥,٧	٢٠	١,٥١	١,٤
تين، طازج	-١ - صفر	٨٥ - ٩٠	٧ - ١٠ يوم	-٢,٤	٧٨	٣,٤٣	٢,٧
كريب فروت	١٤ - ١٦	٨٥ - ٩٠	٤ - ٦ اسبوع		٨٨,٨	٣,٨١	٤,١
عنب، ڤينيرا	-١	٩٠ - ٩٥	٣ - ٦ شهور	-٢,٢	٨١,٦	٣,٥٦	١,٤
عنب، أمريكي	-١ - صفر	٨٥	٢ - ٨ شهور	-١,٣	٨١,٩	٣,٦	١,٤
جوافة	٧ - ١٠	٩٠	٢ - ٣ اسبوع		٨٣	٣,٦	٢,٧
ليمون	-	٨٥ - ٩٠	١ - ٦ شهور	-١,٤	٨٩,٣	٣,٨١	٤,١
الليم	٩ - ١٠	٨٥ - ٩٠	٦ - ٨ اسابيع	-١,٦	٨٦	٣,٧٣	٤,١
مانجو	١٣	٨٥ - ٩٠	٢ - ٣ اسابيع	-,٩	٨١,٤	٣,٥٦	٤,١
زيتون، طازج	٧ - ١٠	٨٥ - ٩٠	٤ اسابيع	-١,٤	٧٥,٢	٣,٣٥	٤,١
برتقال	٣ - ٩	٨٥ - ٩٠	٣ - ٨ اسابيع	-١,٣	٨٧,٢	٣,٧٧	٤,١
البيايا	٧	٨٥ - ٩٠	١ - ٣ اسابيع	-,٩	٩٠,٨	٣,٨٩	٤,١
خوخ	-١ - صفر	٩٠	٢ - ٤ اسابيع	-,٩	٨٩,١	٣,٨١	٤,١
كمثرى	-٢ إلى -١	٩٠ - ٩٥	٢ - ٧ شهور	-١,٦	٨٢,٧	٣,٦	٤,١
البرسيمون	-١	٩٠	٣ - ٤ شهور	-٢,٢	٧٨,٢	٣,٤٨	٤,١
أناناس	٧ - ١٠	٨٥ - ٩٠	٢ - ٤ اسابيع	-١,١	٨٥,٣	٣,٦٨	١,٤
برقوق	-١ - صفر	٩٠ - ٩٥	٢ - ٤ اسابيع	-,٨	٨٥,٧	٣,٧٣	٤,١
الرمان	صفر	٩٠	٢ - ٤ اسابيع	-٣	٨٢,٣	٣,٦	١,٤
السفرجل	صفر إلى -١	٩٠	٢ - ٣ شهور	-٢	٨٥,٣	٣,٦٨	٤,١
ليمون (فاكهة)	صفر - ٣	٨٥ - ٩٠	٢ - ٤ اسابيع	-١,١	٨٧,٣	٣,٧٧	٤,١

جدول (٣,١٣). درجات الحرارة والرطوبة النسبية الموصي باستخدامهما و فترة التخزين التقريبية وأعلى نقطة تجمد والمحتوى المائي والحرارة النوعية والتبادل الهوائي المطلوب للخضر الطازجة في المخزن.

السلعة	درجة الحرارة، °م	الرطوبة النسبية، ٪	فترة التخزين التقريبية	أعلى نقطة تجمد، °م	المحتوى المائي، ٪	الحرارة النوعية ك. جول\ كجم. °م	متطلبات التبادل الهوائي، م٣\(١٠٠٠ كجم. ساعة)
خرشوف كردي	صفر	٩٠ – ٩٥	١ شهر	-١,٢	٨٣,٧	٣,٦٤	٢,٧
حرشف القدس	-١ – صفر	٩٠ – ٩٥	٢ – ٥ شهور		٧٩,٨	٣,٥٢	١,٤
الهليون	صفر – ٢	٩٥	٢ – ٣ اسابيع	-,٦	٩٣	٣,٩٤	٤,١
بسلة، حبوب وقرون	٤ – ٧	٩٠ – ٩٥	٧ – ١٠ ايام	-,٧		٣,٨١	٤,١
بنجر، منفوخ	صفر	٩٥	١٠ – ١٤ يوم	-,٤	٨٨,٩		١,٤
بنجر، عروش	صفر	٩٥	٣ – ٥ شهور	-,٩	٨٧,٦	٣,٧٧	١,٤
بروكولي	صفر	٩٠ – ٩٥	١٠ – ١٤ يوم	-,٦	٨٩,٩	٣,٨٥	٦,٦
كرنب، مبكر	صفر	٩٠ – ٩٥	٣ – ٦ اسابيع	-,٩	٩٢,٤	٣,٩٤	٦,٦
كرنب، متأخر	صفر	٩٠ – ٩٥	٣ – ٤ شهور	-,٩	٩٢,٤	٣,٩٤	٦,٦
كرنب، صيني	صفر	٩٠ – ٩٥	١ – ٢ شهر		٩٥	٤,٠٢	٤,١
جزر، ناضج	صفر	٩٠ – ٩٥	٤ – ٥ شهور	-١,٤	٨٨,٢	٣,٨١	١,٤
جزر، غير ناضج	صفر	٩٠ – ٩٥	٤ – ٦ شهور	-١,٤	٨٨,٢	٣,٨١	١,٤
قرنبيط	صفر	٩٠ – ٩٥	٢ – ٤ اسابيع	-,٨	٩١,٧	٣,٨٩	٦,٦
كرفس	صفر	٩٠ – ٩٥	٢ – ٣ شهور	-,٥	٩٣,٧	٣,٨٩	٤,١
كرنب، ملفوف	صفر	٩٠ – ٩٥	١٠ – ١٤ يوم	-,٨	٨٦,٩	٣,٧٧	٤,١
ذرة	صفر	٩٠ – ٩٥	٤ – ٨ يوم	-,٦	٧٣,٩	٣,٣١	١,٤
خيار	٧ – ١٠	٩٠ – ٩٥	١٠ – ١٤ يوم		٩٦,١	٦٩,١	٤,١

تابع جدول (٣, ١٣).

السلعة	درجة الحرارة، م	الرطوبة النسبية، ٪	فترة التخزين التقريبية	أعلى نقطة تجمد، ٥م	المحتوى المائي ٪	الحرارة النوعية ك. چول\ كجم. ٥م	متطلبات التبادل الهوائي، م٣\(١٠٠٠ كجم. ساعة)
باذنجان	٧ - ١٠	٩٠ - ٩٥	اسبوع واحد	-٨,	٩٢,٧	٣,٩٤	١,٤
ثوم، جاف	٧ - ١٠	٩٠	٦ - ٧ شهور	-٨,	٦١,٣	٢,٨٩	١,٤
جذمار الزنجبيل	صفر	٦٥	٦ شهور		٨٧	٣,٧٧	١,٤
الجرجار	١٣	٩٠ - ٩٥	١٠-١٢ شهر	-١,٨	٧٤,٦	٣,٣٥	١,٤
لفت	-١ - صفر	٩٠ - ٩٥	١٠ - ١٤ يوم	-٥,	٨٦,٦	٣,٧٣	٢,٧
كرنب ساقي	صفر	٩٠ - ٩٥	٢ - ٤ اسابيع	-١	٩٠,٣	٣,٨٥	١,٤
الكراث، أخضر	صفر	٩٠ - ٩٥	١ - ٣ شهور	-٧,	٨٥,٤	٣,٦٨	٢,٧
خس	صفر	٩٥	٢ - ٣ اسبوع	-٢,	٩٤,٨	٤,٠٢	٦,٦
بطيخ :							
كنتالوب	صفر - ٢	٨٥ - ٩٠	٥ - ١٤ يوم	-١,٢	٩٢	٣,٩٤	٤,١
بطيخ أصفر	٧ - ١٠	٨٥ - ٩٠	٤ - ٦ اسابيع	-١,١	٩٢,٧	٣,٩٤	٤,١
عرق العسل	٧ - ١٠	٨٥ - ٩٠	٣ - ٤ اسابيع	-٩,	٩٢,٦	٣,٩٤	٤,١
بطيخ أحمر	٤ - ١٠	٨٠ - ٨٥	٢ - ٣ اسابيع	-٤,	٩٢,٦	٣,٩٤	١,٤
عيش الغراب	صفر	٩٠	٣ - ٤ ايام	-٩,	٩١,١	٣,٨٩	٢,٧
بامية	٧ - ١٠	٩٠ - ٩٥	٧ - ١٠ ايام	-١,٨	٨٩,٨	٣,٨٥	٢,٧
بصل جاف	صفر	٦٥ - ٧٠	١ - ٨ شهور	-٨,	٨٧,٥	٣,٧٧	٢,٧
بصل أخضر	صفر	٩٠ - ٩٥		-٩,	٨٩,٤	٣,٨١	٢,٧
بقدونس	صفر	٩٠ - ٩٥	١ - ٢ شهر	-١,١	٨٥,١	٣,٦٨	١,٤
الجزر الأبيض	صفر	٩٠ - ٩٥	٢ - ٦ شهور	-٩,	٧٨,٦	٣,٤٨	١,٤
بسلة، خضراء	صفر	٩٠ - ٩٥	١ - ٣ اسابيع	-٦,	٧٤,٣	٣,٣١	٢,٧
فلفل، حار	صفر - ١٠	٦٠ - ٧٠			١٢	١,٢٦	٢,٧

تابع جدول (٣,١٣).

السلعة	درجة الحرارة، °م	الرطوبة النسبية، %	فترة التخزين التقريبية	أعلى نقطة تجمد، °م	المحتوى المائي %	الحرارة النوعية (ك جول\ كجم. °م)	متطلبات التبادل الهوائي، م³\(١٠٠٠ كجم. ساعة)
فلفل، عذب	٧ - ١٠	٩٠ - ٩٥	٢ - ٣ شهور	-٠,٧	٩٢,٤	٣,٩٤	٢,٧
بطاطس، حصاد مبكر		٩٠		-٠,٦	٨١,٢	٣,٥٦	٢,٧
بطاطس، حصاد متأخر		٩٠		-٠,٦	٧٧,٨	٣,٤٣	٢,٧
اليقطين	١٠ - ١٣	٧٠ - ٧٥	٣ - ٤ اسابيع	-٠,٨	٩٠,٥	٣,٨٥	١,٤
فجل، ربيعي	صفر	٩٠ - ٩٥	٢ - ٤ اسابيع	-٠,٧	٩٤,٩	٤,٠٢	١,٤
فجل، شتوي	صفر	٩٠ - ٩٥	٢ - ٤ اسابيع				١,٤
الفومي	صفر	٩٠ - ٩٥	٢ - ٤ شهور	-١,١	٧٩,١	٣,٤٨	١,٤
سبانخ	صفر	٩٠ - ٩٥	١٠ - ١٤ يوم	-٠,٣	٩٢,٧	٣,٩٤	٤,١
قرع، شتوي	١٠ - ١٣	٥٠ - ٧٥		-٠,٨	٨٥,١	٣,٦٨	١,٤
قرع، صيفي	صفر - ١٠	٩٠	٥ - ١٤ يوم	-٠,٥	٩٤	٣,٩٨	٢,٧
بطاطا	١٣ - ١٦	٨٥ - ٩٠	٤ - ٦ شهور	-١,٣	٦٨,٥	٣,١٤	١,٤
طماطم	١٣ - ٢١	٨٥ - ٩٠	١ - ٣ اسابيع	-٠,٦	٩٣	٣,٩٤	٤,١
لفت	صفر	٩٠ - ٩٥	٤ - ٥ شهور	-١,١	٩١,٥	٣,٨٩	١,٤
لفت أخضر	صفر	٩٠ - ٩٥	١٠ - ١٤ يوم	-٠,٢	٩٠,٣	٣,٨٥	٤,١
الحُرف	صفر - ٢	٩٠ - ٩٥	٣ - ٤ يوم	-٠,٣	٩٣,٣	٣,٩٨	٤,١

ويتولّد غاز الإيثيلين بواسطة معظم المواد النباتية، وقد يكون ذامنفعة مهمة أوتأثيرات ضارة على الفاكهة والخضر أثناء المعاملة بعد-الحصاد[١، ٤]. وقد يُسبب الإيثيلين نضجًا للفاكهة أو شيخوخة أنسجة بعض النباتات الأخرى. ولابد لكي يظهر تأثير هذا الغاز من تراكم تركيز بدائي محدود في الجو الداخلي للأنسجة، كما لابد وأن تكون درجات الحرارة المتولدة أعلى من أقل مستوى. ولايوجد تحديد جيد بالنسبة للتركيز البدائي أو أقل متطلبات درجة الحرارة بالنسبة لنشاط غاز الإيثيلين لمعظم الخضر والفاكهة. ويعتمد معدل إنتاج ونشاط الإيثيلين على درجة الحرارة، وعلى ذلك فإن التبريد السريع والتنظيم الجيد لدرجة الحرارة مرغوب للحد من تأثيرات الإيثيلين على كل من النضج والشيخوخة. وقد يحدث أقصى تأثير لمعظم المنتجات عند درجات حرارة للمنتَج في المدى من ١٧ إلى ٢١ °م[١].

وتتطلب تلك المنتجات- مع معدلات تنفس مرتفعة- معدلات تهوية كبيرة في منشآت التخزين المهواة عن المنتجات ذات معدلات تنفس منخفضة. وتتطلب تهيئة بيئة المنتجات ذات معدلات تنفس مرتفعة سعة تبريد كبيرة وضرورية.

وتُعامل الحرارة المتحررة من عملية التنفس كحرارة كامنة مكتسبة في منشأة التخزين. ويعتمد الأساس المنطقي لهذا الفرض على الاستخدام الكامل لحرارة التنفس في تبخير الرطوبة المتولدة والمفقودة من المنتَج. ويعتبر هذا الفرض صحيحًا بالنسبة لمعدلات نتح معتدلة. ولكن يعتبر هذا الفرض غير صحيح بالمرة عند معدلات نتح منخفضة للغاية (ملائمة تقريبًا لبيئة التخزين المشبّع). وسوف تزداد درجات حرارة المحصول- عند معدل نتح منخفض- عن درجات حرارة وسط التخزين لكي يحدث تسريب لحرارة التنفس. و نتيجة لذلك، فإن جزءاً من حرارة التنفس سوف يظهر كحرارة محسوسة مكتسبة في منشأة التخزين. وسوف تنخفض درجة حرارة سطح المنتَج المخزّن إلى أقل من درجة حرارة وسط التخزين عند معدل نتح مرتفع للغاية؛ نظرًا لأن تأثير التبريد التبخيري مرتبط مع البخر المتولد من رطوبة النتح المفقودة. وعلى ذلك، فيمكن اعتبار التنفس على أنه حرارة كامنة مكتسبة داخل المنشأة، وأن درجة حرارة المنتج المنخفضة والمتولدة من التبريد التبخيري مسؤولة عن الحرارة المحسوسة المناظرة والمفقودة في المنشأة.

و قد تم التركيز على أهمية تأثير التبريد التبخيري المرتبط بالنتح في أبحاث سابقة[٦،٥] . فقد ذُكر أن العامل الأكثر أهمية عند الأخذ في الاعتبار للحرارة المتنقلة بين المنتَج وهواء التقليب يكون الفرق بين حرارة النتح وحرارة التبخير (أي المعدل الصافي للحرارة المتولدة)[٥] . وقد خَلُصَ من دراسة الاتزانات بين حرارة نتح المنتج والحرارة المطلوبة للتبخير على أنه إذا كانت الحرارة اللازمة لتبخير ماء النتح أقل من حرارة التنفس، فإن درجة حرارة المنتج سوف ترتفع ويبدأ المنتج في تسريب حرارة للوسط[٦] . أما إذا كانت حرارة البخر أكبر من حرارة التنفس، فإن درجة حرارة المنتج سوف تنخفض ويعمل المنتج في تلك الحالة كحوض حراري .

و قد تكون عملية تقسيم حرارة التنفس إلى أحمال حرارية كامنة ومحسوسة داخل المنشأة غير المبردة مهم من الناحية النظرية فقط؛ نظراً لأن تأثير تلك الأحمال على المتطلبات التصميمية لتهوية منشآت التخزين غير جوهري . ولكن قد تحتاج عملية التقسيم بين أحمال الحرارة الكامنة والمحسوسة إلى التقدير الكامل لتفاعلات التنفس- النتح . وعلاوةً على ذلك، فقد تصبح عملية تقسيم حرارة التنفس إلى مكتسبات حرارية محسوسة وكامنة جوهرية عند تصميم منشآت التخزين المبرد .

النتح

(TRANSPIRATION)

تتحرّر الرطوبة من المنتج المخزن أساسًا نتيجة عملية النتح . ومع أن الماء يخرج مع تنفس المنتج-كما هو واضح من المعادلة رقم (١ , ١٣)- إلا أن ماء التنفس يبقى في أنسجة المنتج . ويعتبر النتح السبب في الفقد الرطوبي من خلال البخر والانتشار[٧] . ويعتبر النتح من الخضر والفاكهة عملية انتقال مادة بحيث يتحرك بخار الماء من سطح المنتج إلى الوسط المحيط . ويكون الماء- الذي يعتبر أكبر مركبة متوافرة بغزارة في المنتج الطازج- في صورته السائلة باستمرار داخل كل منتج . وتتركب الخضر والفاكهة من خلايا مفككة ترتبط ببعضها البعض بواسطة حيّزات بَيْخَلويّة تفضي إلى الفتحات الطبيعية . وتتحرك صورة الماء المائعة خلال تلك القنوات إلى سطح المنتج حيث تتبخر .

و يؤثر ذبول و ترهّل المنتج- والناتج من فقد الماء بغزارة - على المنظر العام للمنتج مما يزيد من شكوى المستهلك. ويظهر العديد من الخضر والفاكهة مترهّلة وذابلة بعد فقد الماء ولو بنسبة ضئيلة بالمقارنة بالوزن الأصلي. وقد يتطلب المنتج الورقي المترهِّل عملية تقليم إضافية لجعله قابلاً للتسويق. فقد يحدث مثلاً انفراط لعنقود العنب إذا كانت السيقان شديدة الجفاف. ولابد من تجنيب الفاكهة الشديدة الذبول قبل البيع(١). وسوف يصبح الفقد في وزن المنتج كنتيجة لتبخر الماء فقداً آخر في التسويق. ويعني فقد في الوزن ٥٪ - و هي نسبة فقد طبيعية - فقد ١ كجم لكل ٢٠ كجم من المنتج أو فقد ٥٠ كجم لكل طن من المنتج المتداول. وقد تم إجراء مراجعة شاملة للغاية وتحليل لكل ما كتب في هذا الموضوع لتجميع قائمة خاصة بمعدلات نتح أكثر من ١٩ منتجًا مختلفًا من الخضر والفاكهة، وكذلك تم استخلاص تأثيرات عوامل عديدة على معدل النتح(٨). وقد تضمنت الدراسة مراجعة وتحليل مايقرب من ٥٠٠ ورقة علمية منشورة في العالم على مدار ٥٠ سنة ماضية في مواضيع مرتبطة بطريق مباشر وغير مباشر مع النتح. وتوضح الفقرات التالية مناقشة مختصرة عن تأثير المتغيّرات المؤثرة على معدل النتح.

تأثير عجز ضغط بخار الماء (Effect of Water Vapor Pressure Deficit)

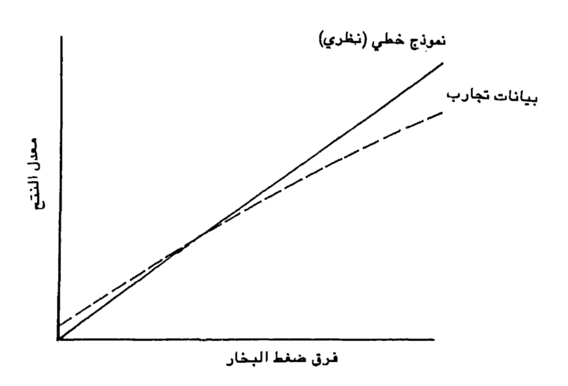
يتم التحكم في معدل النتح بواسطة درجة الحرارة والرطوبة النسبية ومقاومة السطح. وعامة تحتوي الخضر والفاكهة من ٨٠ إلى ٩٥٪ ماء اعتماداً على الأصناف. ويوجد هذا الماء في الفراغات البَيْخلويّة للخضر والفاكهة. وعلى ذلك، فإنه في الغالب ما يُفترض أن الجو الداخلي في حالة تشبع. ويتولد النتح أساسًا نتيجة للفرق بين ضغط البخار داخل الخضر (أوالفاكهة) وضغط بخار الماء للوسط. وفي الغالب ما يعتقد أن ضغط البخار خلال منتج - عندما يكون طازجًا- يعتمد كليًا على درجة حرارة المنتج نتيجة لظروف التشبع داخله، بينما يتأثر الضغط البخاري للوسط البيخلوي بدرجة حرارته ورطوبته النسبية. ودائمًا ما يُفترض أن يكون المنتج عند نفس درجة حرارة الوسط المحيط.

ويحدث نتح للرطوبة كلما تعرضت المنتجات لضغط بخار ماء منخفض أثناء المعاملة أو الشحن أو عمليات التخزين. ويرتبط معدل النتح من منتج تقليدي بعلاقة خطية مباشرة مع العجز في ضغط بخار الماء. وعادة يحسب العجز بناءً على فرض تساوي درجات حرارة كل من المنتج والوسط المحيط به. ويجب أن يُعبّر عن العجز في ضغط بخار الماء المحسوب على هذا الأساس بعجز ضغط بخار الماء " الظاهري ". وقد لوحظ وجود انحرافات عن العلاقة الخطية عند القيم المتطرفة من ضغوط البخار سواء المرتفعة أوالمنخفضة للغاية. وترجع تلك الانحرافات إلى الفرض القائل أن المنتج يوجد عند درجة حرارة وسط التخزين. بينما وجد بعض الباحثين- عند قياس معدلات النتح لمنتجات عديدة تحت ظروف الحالة غير المستقرة - أن الضغوط البخارية تحت الطبقة السطحية للمنتجات كانت إلى حد ما أقل من الضغوط البخارية التشبّعية عند درجات حرارة الوسط[٩،١٠،١١]. ولم يُقدم الباحثين تفسيرات لذلك، ولكن لوحظ أن فروض الأبحاث السابقة بالنسبة لضغوط البخار المشبعة تحت الطبقة السطحية للمنتجات قد لا تكون كليًا صحيحة.

وقد يكون أحد التفسيرات الممكنة لهذا الانحراف عند معدلات نتح منخفضة مرده أن حرارة المنتج الداخلية والمتولدة من التنفس ترفع من درجة الحرارة الداخلية تدريجيًا بالنسبة لبيئة التخزين. وسوف يسبب ذلك فرق ضغط بخار أعلى من المحسوب بفرض تساوي درجات الحرارة.

وقد يكون الانخفاض في فرق ضغط البخار " الظاهر " عند معدلات نتح مرتفعة راجعًا لتأثيرات التبريد التبخيري للنتح من خلال وقرب سطح المنتج، مما يسبب انخفاضًا موضعيًا لدرجة الحرارة، و بذلك تنخفض ضغوط البخار الموضعية. ويبّين الشكل رقم (١ ,١٣) النموذج التقليدي بطول منحنى ممثل موضحًا الانحرافات التي تمت تفسيرها عند حدي تطرف نقص ضغط بخار الماء[١٢]. ويحتمل- نتيجةلهذه الانحرافات- وجود نتح في أوساط مشبعة.

ومن الضروري عند أخذ النتح في الاعتبار أن يتم حساب ضغط بخار الماء للمنتج على أساس درجة حرارة سطح المنتج بدلاً من درجة حرارة الوسط.



شكل (١ ,١٣). انحراف منحنى النتائج الفعلية عن النموذج الخطي

تأثير حركة الهواء (Effect of Air Movement)

تميل الطبقة الحدية المحيطة بالمنتج إلى التشبع مع فقد المنتج للرطوبة، وذلك نتيجة لتراكم الرطوبة الموضعية. وتعمل حركة الهواء على تسريب هذا الهواء وإحلاله بهواء أقل تشبعًا، وبالتالي يزداد معدل النتح. و يزداد معدل النتح أيضًا مع سرعة الهواء حتى يصل إلى النقطة حيث زيادة سرعة الهواء يكون له تأثير طفيف أو لا يكون له تأثير على معدلات النتح على الإطلاق. وقد نُشر في دراسة عن التفاح أن سرعات حتى ٠٧ , ٠ (م/ ث) تميل إلى زيادة معدلات النتح، مع انعدام التأثير عند سرعات أكبر من٠٧ , ٠(م/ ث)[١٣].

تأثير التنفس (Effect of Respiration)

من الفروض الشائعة التي فرضها الباحثون أن فقد الوزن الوحيد الراجع إلى التنفس يكون من خلال تسرب غاز ثاني أكسيد الكربون. ولكن قد لوحظ أن التنفس يسبب أيضًا فواقد خلال تولّده للحرارة من الخضر والفاكهة. وتميل الحرارة المتولدة إلى زيادة ضغط البخار في المنتج مما يؤدي إلى زيادة الفواقد الرطوبية نتيجة النتح.

و يبدو أن تأثيرات التنفس راجعة إلى: (أ) تأثير كيميائي - تحرر ثاني أكسيد الكربون والماء، (ب) تأثير فيزيائي - تسرب الطاقة. و لقد نُشر في دراسة سابقة أن ثاني أكسيد الكربون ينتشر في الوسط، بينما يبقى الماء في الأنسجة(١٤). وتميل حرارة التنفس إلى رفع درجة حرارة المنتج والتي تؤدي إما إلى زيادة معدلات النتح حيث تتوافر فروق ضغط البخار أو تسبب نتحًا في الأوساط المتشبعة.

تأثيرات حجم وشكل ومساحة سطح البضائع المخزّنة

(Effects of Size, Shape, and Surface Area of the Commidity)

لكل من الحجم والشكل ومساحة سطح الفاكهة أو الخضار تأثير جوهري على النتح. فيوجد لدى المنتجات الكبيرة الحجم مساحة سطحية منخفضة بالنسبة لوحدة الوزن عن نفس أنواع المنتجات والصغيرة الحجم، وعلى ذلك تميل إلى فقد رطوبة أقل بالنسبة لوحدة الوزن. وقد لوحظ أن للثمار الصغيرة طبقة سطحية رقيقة عن الثمار الكبيرة الحجم، وقد يكون ذلك سبب آخر في اختلاف أنماط معدلات النتح التي تمت ملاحظتها(١٥).

وقد يؤثر شكل الفاكهة أوالخضار أيضًا على نسب اختلاف المساحة السطحية إلى الوزن مثلما يؤثر على معاملات انتقال كل من الحرارة والكتلة. وقد لوحظ أن الجذور الطويلة والرفيعة ذات الشكل المخروطي تفقد وزنًا بمعدل أكبر من الجذور السميكة ذات الأشكال الأسطوانية. وقد لوحظ أيضًا أن شكل المنتج لابد وأن يؤخذ في الاعتبار عند تقدير معاملات انتقال الحرارة والكتلة(١٧).

تأثير البناء السطحي (Effect of Surface Structure)

يعتبر البناء السطحي مفهومًا مهمًا للغاية في دراسات النتح. فإذا كان نقص ضغط البخار يمثل القوة الأساسية في العملية، فإن البناء السطحي والقشري مع طبقة الهواء الملامسة يمثلان المقاومة لانتقال المادة. فمع أن أسطح بعض الخضر والفاكهة تكون تقريبًا مغطاة كليًا بطبقة شمعية غير نفاذة، إلا أنها تقدم سبلاً عديدة لفقد الماء مثل: الندبات الموجودة في السيقان والمسامات العدسية والشعيّرات (إن وجدت) والتقشفات وشعيّرات البشرة وغيره. ويوجد لدى المنتجات المختلفة والأنواع المختلفة لنفس المنتج أبنية بشرات مختلفة، وعلى ذلك يكون لدى المنتجات مقاومات مختلفة لانتشار الرطوبة. ويعتبر ذلك السبب الرئيسي في تغيّرات معدلات النتح بين أنواع المنتجات المختلفة.

ويسبب تراكم الشمع على أسطح الثمار تأثيرًا جوهريًا بالنسبة لفقد الماء. فقد نُشر في بحث أن إزالة الطبقة الشمعية من التفاح تسبب زيادة معدلات النتح والتي لا يمكن تعويضها عند تشكل طبقة شمعية جديدة على القشرة[١٨]. وقد يكون لدى البناء السطحي للثمار تأثيرات أخرى. فعلى سبيل المثال، يُقال إن الخوخ لديه شعيّرات على البشرة تقاوم تسربات مناطق الرطوبة المرتفعة بالقرب من السطح مما يسبب فقد كمية رطوبة أقل عن الثمار ذات القشرات الناعمة[١٩].

عوامل أخرى (Other Factors)

وتوجد عوامل أخرى ذات تأثيرات متغيّرة على معدلات نتح المنتج القابل للفساد مثل درجة النضج والفواقد الرطوبية وكمية المواد المتحللة. وقد تؤثر درجة نضج الفاكهة أو الخضر على معدلات النتح بها؛ نظرًا للتغيّر المناظر في البناء السطحي. ومن الشائع الاعتقاد أن الفاكهة غير الناضجة ذات معدلات نتح أسرع من الفاكهة الناضجة. ويبدو أن لدى الطماطم معدل نتح ثابتًا بصرف النظر عن درجة النضج. وتبدي الثمار الاستوائية مثل ثمار البَبو زيادة في النتح مع ظهور الألوان على القشرة وبداية الارتفاع إلى مرحلة حرجة، كما يزداد ذلك النمط أكثر

مع ظهور بقع على السطح. وقد لوحظ أن معدلات نتح التفاح تكون مرتفعة في بداية الفصل عندما تكون قشرة الثمرة ذات نفاذية عالية لبخار الماء[١٨]. وتتناقص النفاذية حتى تصل إلى أقل قيمة لها عند قمة النضج، ثم يبدأ بعد ذلك معدل النتح في الزيادة مرة أخرى.

ويعتبر انخفاض نفاذية المادة من الظواهر الشائعة الحدوث في عملية انتقال رطوبة المواد البيولوجية. فتنتج عن التجفيف السريع للأنسجة السطحية نفاذية منخفضة لانتشار البخار، مما يؤدي إلى الحد من فقد رطوبة أكثر. ويرجح أن يحدث هذا التقيد في فقد الرطوبة فقط إذا كان التجفيف قاسيًا.

وتحتوي الرطوبة في أغشية خلايا معظم الخضر والفاكهة على مواد متحللة (سكر وغازات وغيره). وقد لوحظ أنه إذا تم وضع فاكهة أو خضار في وسط مشبع، فإن الإنتاج الحراري المتولد من التنفس قد يُسبب زيادة طفيفة في درجة حرارة المنتج. وسوف ينتج عن ذلك فرق ضغط بخاري صغير بين المنتج والوسط المحيط[٢١]. ولكن قد يعمل وجود المواد المتحللة على خفض ذلك الفرق في ضغط البخار. وهكذا، فإذا كان المنتج يسرِّب رطوبة عند تخزينه تحت ظروف تشبع، فإن واقع التنفس قد يحتاج إلى أكثر من مجرد تجنيب تأثير المواد المذابة.

وتعتبر معدلات فقد الرطوبة المرتفعة للغاية عند البداية من الفاكهة والخضر الطازجة بعد عملية الحصاد مباشرة ظاهرة شائعة الحدوث. وبعد ذلك يحدث انخفاض بمعدل سريع حتى يتم الوصول إلى معدل نتح ثابت. وقد لوحظت هذه الظاهرة مع العديد من الخضر والفاكهة[٢٢]. وقد وجد أن معدل الانخفاض يتغيّر مع نوع المنتج. فعلى سبيل المثال، نجد أن البطاطس- والتي لها مجموعة طبقية من القشور السطحية بالإضافة إلى مساهمة التئام جروح الحصاد- قد تحتاج إلى أسبوعين لكي يصل النتح إلى قيمة مستقرة. أما بالنسبة للخضر الورقية، حيث تجفيف القلامات الماصة وانسداد الثغيّرات من أسباب نقص معدل النتح، فقد يكون حوالي ساعتين كافيتين للوصول إلى معدل نتح ثابت.

وتوجد في إحدى الدراسات[٨] معلومات إضافية عن تأثير هذه العوامل، وكذلك تأثير عوامل أخرى على معدلات نتح الفاكهة والخضر.

معاملات النتح المتحصّل عليها من الدراسات السابقة

(TRANSPIRATION COEFFICIENTS OBTAINED FROM THE LITERATURE)

يعرض الجدول رقم (٤ ,١٣) بعض قيم معاملات نتح الفاكهة والخضر. وقد تم الحصول على تلك القيم إما بطريق مباشر أو حُسبت من النتائج الموجودة في الدراسات السابقة المنشورة. ويعرّف معامل نتح أي خضار أو فاكهة على أنه كتلة الرطوبة الخارجة بالنتح بالنسبة لكل من وحدة الكتلة من المنتج ووحدة العجز في ضغط بخار الماء البيئي ووحدة الزمن.

ويجب الأخذ في الاعتبار للمشاكل الكثيرة التي ووجهت عند إعداد جدول بمثل هذه الطبيعة قبل الاستخدام الفعلي. فلا يمكن اعتبار أن كل الأرقام المتحصّل عليها من المطبوعات دقيقة ويمكن الاعتماد عليها. فعلى سبيل المثال، نجد أن التجارب التي أجراها العديد من الباحثين لم تكن مصممة تحديدًا لقياس معاملات النتح. والأكثر من ذلك، نجد عند مراجعة تلك المطبوعات أن معاملات النتح تتغيّر مع كل من نقص ضغط البخار ودرجة حرارة المنتج ودرجة النضج والنوع ووقت القطف وسرعة الهواء وحجم المنتج. ونجد في بعض الأحيان أن التغيّرات تكون كبيرة نسبيًا. فقد لوحظ في حالات عديدة وجود معامل نتح مرتفع في فترة الاختبار المبكرة متبوعًا بانخفاض سريع ثم الاتجاه إلى الاستقرار. وقد سجل هذا المعدل الابتدائي بعض الباحثين وأُهمله آخرون.

وقد تضمنت اختبارات أخرى قياس الفواقد الوزنية للمنتجات ذات الطبقة الشمعية والمنتجات المغسولة أو المعبأة. ومازال البعض يستخدم أحجام عينات صغيرة للغاية، وذلك للحصول على معلومات مفيدة أو مقنعة.

جدول (٤ ,١٣). معاملات نتح بعض أنواع الخضر والفاكهة

المنتَج والنوع	معامل النتح، ملي جم/ (كجم . ث)	المدى المستخدم والمدوّن في الأبحاث السابقة
التفاح		
يوناثان	٣٥	٣٨-١٦
ذهبي حلو	٥٨	٢٥٠-٢٩
نبتة براملي	٤٢	١٠٠-١٦
متوسط كل الأنواع	٤٢	١٠٠-١٦
كرنب مسلوق		
غير محدد	٣٣٠٠	٩٧٧٠-٣٢٥٠
	٦١٥٠	
متوسط كل الأنواع		
كرنب		
كرنب بنسيلفانيا		
مهذب أو مقلم	٢٧١	
غير مقلم	٤٠٤	
جزر		
نانتيس	١٦٤٨	١٨٩٦-١٠٦
شانتيني	١٧٧١	١٩٦٣-١٤٠
متوسط كل الأنواع	١٢,٧	٣٢٥٠-١٠٦
كرفس		
غير محدد		
متوسط كل الأنواع	١٧٦٠	٣٣١٣-١٠٤
		٣٣١٣-١٠٤
جريب فروت		
غير محدد		
	٣١	١٥٠-٢٩
مارش	٥٥	١٦٧-٥٢
متوسط كل الأنواع	٨١	١٦٧-٢٩
عنب		
إمبراطور		
كاردينال	٧٩	٢٥٤-٢١
طومسون	١٠٠	

تابع جدول (٤ ,١٣).

المنتَج والنوع	معامل النتح، ملي جم/ (كجم . ث)	المدى المستخدم والمدوّن في الأبحاث السابقة
متوسط كل الأنواع	٢٠٤	٨٣-١١٧
كراث	١٢٣	١٨٠-٢٢٣
ماصيل بيرف		٢١-٢٥٤
متوسط كل الأنواع	١٠٤٠	
	٧٩٠	٥٣٠-١٠٤٢
ليمون		
يوريكا	٢٢٧	
أخضر غامق	١٤٠	١٣٩-٢٢٩
أصفر	١٨٦	
متوسط كل الأنواع		
خس	٨٧٥٠	٦٨٠-٨٧٥٠
منقطع النظير	٧٤٠٠	
متوسط كل الأنواع		
بصل		
حار خريفي	٩٦	
غير مملح	٤٤	
مملح	٦٠	١٣-١٢٣
متوسط كل الأنواع	٥٨	٢٥-٩٠
برتقال	١٠٤	٣٨-١٤٠
فاليسيا	١١٧	٢٥-٢٢٧
نافال		
متوسط كل الأنواع	١٩٣٠	١٠٩٤-٢٧٧١
جزر أبيض		
التاج الأجوف		
خوخ	٩١٧	٦٩٦-١١٣٨
حمى حمراء	١٠٢٠	٥٢٠-١٥٢١
ناضج صلب	٢٧٤	٢١٠-١٥٢١
ناضج رطب	٥٧٢	١٤٢-٢٠٨٩
متوسط كل الأنواع		

تابع جدول (٤ ,١٣).

المنتَج والنوع	معامل النتح، ملي جم/ (كجم . ث)	المدى المستخدم والمدوّن في الأبحاث السابقة
كمثرى		
باس جراسان	٨٠	٩٦-٥٨
بيوري كليرجو	٨١	١٤٣-١٤١
متوسط كل الأنواع	٦٩	
برقوق		
النصر		
غير ناضج	١٩٨	٢٢١-١٧٥
ناضج	١١٥	١٢٧-١١٠
ويكسون	١٢٤	١٣٣-١١٥
متوسط كل الأنواع	١٣٦	٢٢١-١١٠
بطاطس		
مانو		
ناضج	٢٥	٤٠-١٥
كينيك		
غير مملح	١٧١	
مملح	٦٠	
سيباجو		
غير مملح	١٥٨	
مملح	٣٨	
متوسط كل الأنواع	٤٤	١٧١ - ٢
اللفت الأصفر (السويدي)		
لورينشيان	٤٦٩	
طماطم		
مارجلوب	٧١	٣٦٠-٧١
أيروكروس ب ب	١١٦	
متوسط كل الأنواع	١٤٠	

ويتضح مع كل هذه التغيّرات وجود بعض القصور في بيانات الأبحاث السابقة. فتعتبر المعلومات المدوّنة في الجدول رقم (٤ , ١٣) عن معاملات النتح- بالنسبة لأنواع محددة من منتج معين- القيم الأكثر اعتماداً وتمثيلاً لذلك النوع. وتعتبر القيم المتحصّل عليها من التجارب التي تحمل الطابع البحثي من حيث الأساسيات والطرق والتجهيزات المستخدمة قيمًا يمكن الاعتماد عليها. وتوجد أيضًا بالجدول رقم (٤ , ١٣) قيم متوسطة لكل الأنواع. وتوضح تلك القيم المتوسطة التغيّرات بين القيم المتحصّل عليها.

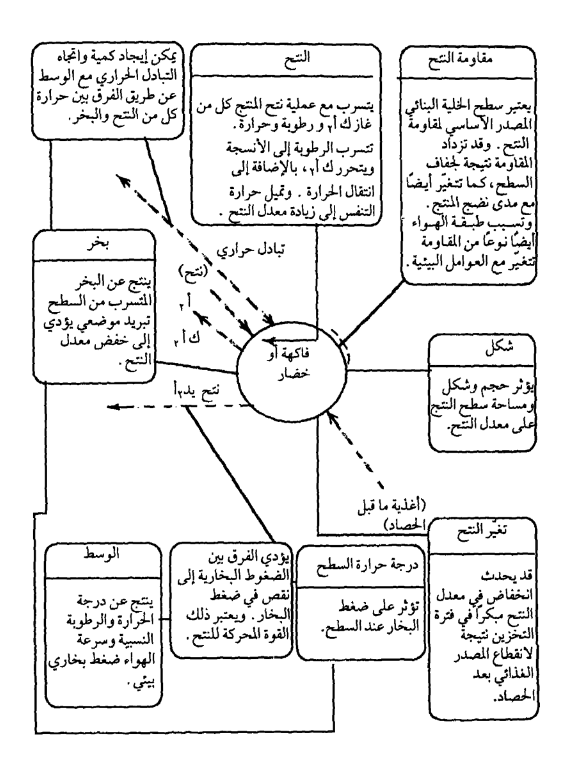
وقد تم تطوير نموذج رياضي للتنبؤ بمعدلات نتح الفاكهة والخضر ذات الشكل الكروي تقريبًا مع نمو القشور السطحية[١٢,٢٣]. وقد تم تطوير هذا البرنامج بناءً على كل المتغيّرات الجوهرية المؤثرة على النتح والتي تمت مناقشتها سابقًا. وقد تمت مضاهاة البرنامج الرياضي باستخدام تجارب مكثفة على الطماطم. وقد نُشر في أحد الأبحاث استخدام النموذج في إيجاد ظروف التخزين الأكثر اقتصادية للطماطم[٢٤].

وقد نوقشت عوامل كثيرة مؤثرة على معدلات النتح أو على سلوك نتح الخضر والفاكهة. ويصف الشكل رقم (٢ , ١٣) مُجْمَل العوامل والظواهر المرتبطة بالنتح[٨].

اعتبارات معاملة الهواء

(AIR HANDLING CONSIDERATIONS)

من المهم عند إزالة الحرارة من الفاكهة أوالخضر المخزّنة أن يكون هواء التهوية في منشأة التخزين قادراً على المرور من خلال مادة المنتج. ويعتبر هواء التهوية وسطًا تنتقل من خلاله الحرارة إلى الجو الخارجي. ولا يمكن للهواء أن ينقل الحرارة بكفاءة إلى الخارج إلا إذا كان قادراً على الوصول إلى مصدر الحرارة. والأكثر من ذلك، من المرغوب أن يصل هواء التهوية إلى المنتج في كل حمل مرصوص أو صندوق عندما يكون المطلوب تبريد المنتج بمعدل منتظم وسريع[٢٥].



شكل (٢, ١٣). معدل نتح الفاكهة والخضر؛ الظاهرة والعوامل المرتبطة

ويوجد لدى المنتجات التي تتنفس والسريعة الفساد متطلبات محددة بالنسبة لضغط وسرعة الهواء والرطوبة أثناء التخزين سواء تم التخزين في صناديق أو في تكدّسات. وقد تم تحديد متطلبات تخزين المنتجات كالآتي(٤):

١- مطلوب تيار من الهواء لاختراق السلع المحمولة في صناديق وكراتين داخل أوعية. ولابد وأن يكون الضغط الإستاتيكي للهواء كافيًا بحيث يتم اختراق الحمل المعبأ في الصندوق من خلال فتحات صغيرة.

٢- لابد وأن يتم توزيع الهواء بحيث تحاط معظم المنتجات بتيار من الهواء في جميع الأوقات.

٣- لابد من تصميم معاملة الهواء للتخلص من الغازات السامة والحرارة المتولدة من المنتج أثناء التنفس. ولكن علاوةً على ذلك، يجب تجنب الاستخدام الزائد لهواء التهوية الخارجي أو الهواء المكيّف داخل المخزن.

ويحتمل أن يكون دفع الهواء بالحمل الطريقة الأكثر شيوعًا لتهوية الخضر والفاكهة. ويتضمن الحمل تحت الظروف المثالية إمرار الهواء خلال الصندوق بحيث يتم التخلص من الحرارة من على سطح كل حبة فاكهة على حدة. ويمكن أداء ذلك عن طريق التبريد في أنفاق حيث توجّه سرعة الهواء المرتفعة إلى سطح صندوق الفاكهة المفتوح . ويكون التطبيق الآخر عن طريق استخدام نظام التهوية المدفوع. وتعتبر طريقة التكديس ضرورية لمنع المرور العابر للهواء وإحداث فرق ضغط إستاتيكي على جانبي التكدس، مما يدفع الهواء للمرور خلال فتحات تهوية الصندوق بدلاً من الدوران من على الأسطح الخارجية(٢٦).

ويمكن إنجاز التهوية أيضًا بواسطة تبادل الهواء في الأوعية المهواة بواسطة فعل ڤنتوري يتحصل عليه بتحريك الهواء في قنوات خارجية إلى الأسطح الخارجية للصندوق. ولقد وضح أن التفاح المعبأ في صناديق ذات فتحات تهوية ومرصوص في صفوف مع الفتحات يتعرض لتبريد بمعدل أسرع من نفس التفاح المعبأ في صناديق غير مهواة (٢٧) . ولقد أوضحت الدراسات أن الصندوق الذي يحتوي على ١٨,١ كجم من الفاكهة يجب أن يحتوي على الأقل على مساحة ١١٦ سم٢ من الفتحات لكي يتم تبادل الهواء بكفاءة (٢٨) . ولقد وجد أن زيادة مساحة الفتحات في

الصناديق من صفر حتى ٢,٥٪ مع سرعة للهواء عند السطح المبرد ١,٠ (م/ث) تزيد من معدل التبريد إلى ٢٢٪ [٢٩]. وتؤدي زيادة إضافية في مساحة التهوية ٤,١٠٪ إلى زيادة معدل التبريد بحوالي ٦٠٪.

ويتم تبريد التفاح السائب في الصناديق المفتوحة بكفاءة إذا تمت عملية الرص بحيث يمكن وصول الهواء إلى المنتج. وقد وجد أن التفاح السائب يبرد بمعدل أربع مرات أسرع من التفاح المعبأ عندما يكدس فى صفوف فردية، وثلاث مرات أسرع من التفاح المعبأ والمحمول فى بالات [٣٠]. وقد وجد فى مقارنة بين صناديق تفاح قياسية سعة واحد بوشل وصناديق تسع من ٣٢٠ إلى ٦٤٠ كجم من الفاكهة، أن التفاح السائب يبرد بمعدل مماثل أو أفضل في الصناديق الأخيرة عن التفاح داخل الصناديق القياسية[٣١].

ولقد نُشر في بحث أن رص الصناديق بحيث تسمح لسريان بعض الهواء بين التكدسات يتطلب من ٧٥ إلى ٨٢ ساعة للتخلص من حرارة الحقل ولإعاقة نضج الكمثرى المعبأة في علب كرتون [٣٢]. وتحتاج الكمثرى المعبأة في صناديق خشبية إلى حوالي ٥٠ ساعة فقط [٣٢]. وتحتاج الكمثرى المعبأة في صناديق- في تكدسات لا تسمح بمرور الهواء بين الصناديق ومعرضة للهواء من جانب واحد فقط - إلى وقت أكثر لإزالة كمية حرارة كافية بالمقارنة بالصناديق المرصوصة في تكدسات مماثلة، ولكن معرضة للتبريد من عدة اتجاهات. و تتطلب الكمثرى المعبأة في كراتين ٢٠٠ ساعة للتبريد بالمقارنة بالكمثرى المعبأة في صناديق خشبية والتي تحتاج إلى ٦٨ ساعة. ويتأثر معدل تهوية الفاكهة المعبأة في كراتين تأثراً كبيراً بطريقة التكديس. ففي الحقيقة قد تكون لدى طريقة التكديس تأثير عكسي أكثر على تبريد الفاكهة المعبأة في كراتين عن مثيلاتها المعبأة في صناديق خشبية؛ نظراً لخصائص مقاومة الهواء للأنواع العديدة من الكراتين المصنوعة من رُقاقات ألياف الخشب القاسية.

و تتسرب أثناء التهوية بعض الحرارة بالتوصيل من المنتج المعبأ في صناديق من خلال المنتج وحوائط الصندوق. وتتسرب الحرارة المتبقية مع حركة الهواء من خلال الصندوق وفتحات التهوية في جدران الصندوق. و قد لا يحتاج إلى الصناديق المهواة إذا كان المنتج لن يجرح بواسطة تبريد بطيء نسبيًا. ويمكن تهوية الصناديق

المعرّجة بعمل فتحات أو دوائر في الجدار المعرّج. وينتج عن تهوية ٥٪ من المساحة الجانبية للصناديق المعّرجة خفض وقت التبريد ٢٥ ٪ وتقليل إجهاد التكدس بحوالي من ٢ إلى ٣٪ فقط إذا لم توجد ثقوب للتهوية في أركان الصندوق. ولا يوصى باستخدام صناديق لديها مساحة تهوية أقل من ٢٪؛ نظرًا لأن معدل تبريد تلك الصناديق يعادل معدل تبريد الصناديق غير المهواة[١]. وقد يكون نتيجة للفروق الصغيرة بين الصناديق المتماثلة في بعض الأحيان تأثير واضح على سلوك التهوية لدى كل منها. ولابد من اختبار تصميم الصناديق وطريقة تعبأة المنتج تحت ظروف من سريان الهواء والضغط الاستاتيكي المعلوم قبل أن يتم التنبؤ بالأوقات المطلوبة لاختبار التبريد[٢٩].

ويمكن أن تستخدم أي طريقة مؤثرة- تعتمد على تبادل الهواء داخل الصندوق- فقط إذا كان الصندوق فارغًا من مواد تغليف المنتج التي تعوق جديًا سريان الهواء. ولابد- إذا كانت مواد تغليف الثمار أو أي مواد تعبئة أخرى تحجز حركة الهواء- من التخلص من معظم الحرارة داخل الصندوق بواسطة التوصيل. وقد وجد عند إهمال الحرارة المنتقلة بالتوصيل من الصندوق- كما يحدث مع التفاح المغلّف- أن الوقت اللازم لإتمام نصف عملية التبريد يتغيّر مع مربع المسافة من السطح المعّرض من الصندوق[٣٠]. وقد نُشر في نفس البحث أن خيوط البولي إيثيلين الموجودة في صناديق كمثرى مغلفة قد أدت إلى خفض معدل التبريد حوالي ٣٥٪، وذلك بالمقارنة بالصناديق التي لا تحتوي على تلك الخيوط، وأن كلاً من نوعي الصناديق قد تعرض جيداً لهواء بارد. وقد نُشر أيضًا أن التفاح المغلف في صندوق خشبي عادي يتطلب فترة أطول للتبريد بمقدار ٣٥٪ عن الثمار غير المغلّفة والموجودة في نفس نوع الصندوق[٣٣]. ونظرًا لوجود الحيّزات الهوائية بين التفاح الموضوع في صواني داخل صناديق مصنوعة من رُقاقات ألياف الخشب القاسية، فإنه يمكن تصورّ أن الثمار في هذه الصناديق سوف تبرد بمعدل أسرع من الثمار التي في صناديق خشبية إذا استخدمت فتحات تهوية ذات حجم وموضع ملائم ومتصلة مع تكديس ملائم من صناديق مصنوعة من رُقاقات ألياف الخشب القاسية.

وقد تم تطوير نمط التكديس بحيث برهن بنجاح على تقليل البقع الدافئة في مناطق محددة في مباني المخازن. ولكن غالبًا ما تعمل تلك الأنماط من التكديس على تقليل كفاءة استخدام مساحة التخزين، وقد تزيد من تكلفة العمالة المستخدمة. فتسمح مساحات التكديس التي في حدود عرض٣, ٠ م بسريان حجم كبير من الهواء بالنسبة للتبريد السريع مع ضغط استاتيكي منخفض. ولكن في الغالب ما تكون ٦٠٪ من مساحة الأرضية مشغولة بممرات هوائية، مما يعني أن هذا النظام عملي فقط إذا أمكن الاقتصاد من تخصيص كل هذه المساحة في عمل الممرات[1].

وتوجد مميزات لدى استخدام سريان هوائي رأسي خلال المنتج المكدس أو من خلال قمة وقاع الصناديق المهواة، ومع ذلك تعتبر غيرشائعة الاستخدام باستثناء مع أكوام البصل أومخازن البطاطس. وعادة توجد الممرات الهوائية لتتلاءم مع سريان الهواء الرأسي فوق أو تحت المنتج، وقد تكون بحجم كاف دون التأثير على مساحة الأرضية. ويوجد اعتراض على تهوية الأرضية أو عمل شبك حديدية لإمرار هواء كاف من تحتها، وذلك لارتفاع التكاليف. وتكون العلاقات التي تربط سريان الهواء الخارجي مع كل من معدل التبريد والضغط الاستاتيكي وطول ممر الهواء بالنسبة لسريان الهواء في اتجاه رأسي مماثلة لسريان الهواء في الاتجاه الأفقي [1].

و قد يسبب الاستخدام الزائد للهواء في فقد جزء مهم من المنتج أثناء التخزين. فمن المهم للغاية الحد من حركة الهواء في منطقة التخزين إلى أقل حد كاف لحمل كل من الحرارة المتولدة من المنتج والحرارة المتسربة إلى منطقة التخزين، إلا إذا كان الهواء رطب. ففي الغالب ما يكون استخدام سرعة هواء ٠٧, ٠ (م/ ث) كافيًا للمحافظة على درجة الحرارة المرغوبة أثناء التخزين. ويكون الفقد المائي عند تلك السرعة حوالي نصف القيمة فيما لو تم التبريد عند سرعة ٥, ٠ (م/ ث) [1].

ويكون المنتج القريب من الأرضية - المنتج الأبعد عن مدخل الهواء- الأدفأ؛ نظرًا لتلامسه مع هواء أصبح دافئًا بعد مروره على التكدسات. ولكن لايتأثر- عند أي معدل سريان محدد بالنسبة لوحدة أوزان المنتج- معدل التبريد جوهريًا بالقرب من الأماكن المنخفضة والبعيدة عن مدخل الهواء بطول الممر الهوائي للمنتج. وقد يبسّط استخدام تكدسات واسعة من المعاملة، كما قد يُقلل أيضًا من مساحة الأرضية

المشغولة بالممرات الهوائية. ويسمح هذا الترتيب للتكدسات بتبريد المنتج في الأماكن المنخفضة والبعيدة عن تيارات الهواء دون تأخير، مع أن الضغط المطلوب لتحريك الهواء يزداد بسرعة بزيادة عرض التكدس.

وقد يكون من المفيد فهم نمط التبريد في منشأة التخزين لإيجاد درجة حرارة المنتج المخزن. فقد يتغيّر موضع المنتج الدافيء من نظام إلى نظام، كما قد يتأثر بنوع الصندوق المستخدم.

ولا تعطي درجات حرارة الجو المحيط توضيحًا كافيًا عن درجة حرارة قلب المنتج حيث يكون التبريد بطيئًا. فقد يكون معدل التبريد عند سطح المنتج أكبر عدة مرات من معدل التبريد عند عمق ١,٣ سم فقط داخل أنسجة المنتج. وهكذا يجب أخذ درجة الحرارة عند موضع في قلب المنتج.

ويجب أخذ قياسات درجة حرارة المنتج بالقرب من مركز الصندوق؛ نظراً لأن التبريد يكون عند أقل معدل له عند ذلك الوضع. وبالمثل، من المهم اختيار صناديق من مركز حمل تكدس لمنتج. وتكون درجة حرارة قلب المنتج في مركز صندوق موجود في مركز حمل تكديس لمنتج أعلى درجات حرارة مقاسة[١].

و بصرف النظر عن الطريقة المستخدمة في تقليب الهواء، فإن تلك الطريقة لابد وأن تصمم عند أقل ضاغط إستاتيكي[٢٥]. وعامة يصمم العديد من النظم الهوائية لتوليد ضاغط إستاتيكي صاف من ٥٠٠ إلى ٧٥٠ باسكالاً. ومن الشائع- بالنسبة للأحمال المجمّعة- استخدام ضاغط استاتيكي من ٢٠٠ إلى ٣٧٠ باسكالاً. وقد نُشر في بحث أن تقليب الهواء في نظام تهوية منتج لابد من دراسته بالنسبة لمعدل السريان والضغط وأخيراً القدرة المطلوبة لتقليب الهواء عند ضغط ومعدل سريان محدد[٣٥]. ويواجه سريان الهواء- من خلال أي نظام تقليب- بمقاومة عند نقط متعددة في النظام. وسوف يواجه الهواء مقاومة في أي نظام تهوية منتج - سواء تم تجميع المنتج في تكدسات أو في صناديق- في كل من الأنابيب والحوائط ومداخل ومخارج الهواء وفي مواضع أخرى مثل الحيّزات بين الصناديق وفتحات الصناديق والمنتج نفسه. وتسبب تلك المقاومات نتيجة للاحتكاك واضطراب السريان فواقد للطاقة.

و سوف يواجه سريان الهواء خلال نظام محدد ذي قيود فيزيائية من المقاومات التي تؤدي إلى فقد كبير للطاقة عند معدلات سريان هواء مرتفعة. فقد يتضاعف فرق الضغط عبر مقاومة محددة إلى أربعة أضعاف في حالة تضاعف معدل السريان للهواء. وتتناسب القدرة المطلوبة لتشغيل مروحة لتقليب هواء مباشرة مع معدل سريان الهواء والضغط. ونظراً لزيادة الضغط عبر قيد محدد إلى أربعة أضعاف في حالة مضاعفة معدل سريان الهواء وعلى وجود علاقة مباشرة بين القدرة بالحصان وسريان الهواء، فإن القدرة بالحصان سوف تزداد بمعامل ٨ عند مضاعفة معدل سريان الهواء.

تطبيقات عملية على تصميم نظام تهوية

(PRACTICES IN VENTILATION SYSTEM DESIGN)

يتضمن تصميم نظام تهوية لمنشأة تخزين محصول بستاني الاعتبارات التالية: ظروف وسط التخزين، والتلف المؤثر على المنتج، وأحجام تبادل الهواء، ونظم توزيع الهواء، وترتيبات التحميل، والتكديس، واختيار التجهيزات، ونظم التحكم، والتكاليف الاقتصادية.

الظروف البيئية للتخزين (Storage Environmental Conditions)

تعتمد ظروف وسط التخزين الموصى بها على نوع المنتج وظروف النمو المحلية واستخدام المنتج بعد التخزين. ومن الأساسيات العامة الملازمة والواجب مراعاتها حفظ المحصول عند درجة حرارة بحيث تقلل من معدل النتح وظهور الأمراض ونشاط التبرّعم وفقد الوزن، ولكن يجب أن لايؤدي ذلك إلى انحدار جودة المنتج الداخلية أوتقليل نشاط البذور عند التخزين.

وتحتوي معظم المحاصيل البستانية على ٨٠٪ أو أكثر ماء، كما تتم عمليات التسويق كلها على أساس الوزن الكلي الرطب. ويحاول مسؤولو التخزين نتيجة لذلك منع فقد ماء المنتج إلى أقل قيمة ممكنة. و يوصى حاليًا بالمحافظة على رطوبة

نسبية لهواء الوسط ولمعظم المحاصيل في حدود من ٩٠ إلى ٩٥٪. ويصعب للغاية المحافظة على تلك الرطوبة النسبية في المخازن التجارية أثناء ظروف شتوية نتيجة للمشاكل الخاصة بالتكثيف على سطح المنتج والمخاطر المصاحبة لانتشار الأمراض إذا حدث تنقيط للماء على المنتج. وتستخدم منشآت ذات تصميمات خاصة مثل المخازن المبطنة للحفاظ على رطوبة نسبية أعلى من ٩٥٪[٤٨]. وتكون أعلى رطوبة نسبية عملية بالنسبة لمخزن تجاري مبني جيداً من ٩٠ إلى ٩٥٪. ويتأتى ذلك عن طريق زيادة الرطوبة النسبية حتى بداية التكثيف على السقف أو حتى بداية ظهور سطح رطوبي على طبقة المحصول العليا.

التلف المؤثر على المنتج (Potential Produce Damage)

يعتبر توفير ظروف وسط تخزين ملائمة واختيار منتجات للتخزين ذات درجة نضج محددة وخالية من الأمراض والخدوش من أفضل طرق الإقلال من تلف منتج مخزن. وبالإضافة إلى ذلك، يجب ألا تتعرض المنتجات لتكوين طبقة ثلجية على السطح أو إلى أصابات برد قاسية. وغالبًا ما تعامل جذور المنتج المخزن عمليًا معاملة غير جيدة. فعلى سبيل المثال، نجد أن بروز المنتج عند مستوى أعلى من مستوى صندوق التخزين سوف يسبب خدوشًا على كل المنتجات الموجودة أسفله نتيجة للضغوط الواقعة عليه من جراء تكديس صندوق آخرعلى القمة دافعًا المنتجات في اتجاه لأسفل. ولابد من تجنب التكثيف أو تساقط قطرات الماء على المنتج المخزّن لعدة أسباب. فوجود طبقة مستمرة من الماء على سطح المنتج قد تعوق التنفس مسببة تغيّرات واضحة في الأنسجة وإحداث بيئة مفضلة لنمو الفطريات والبكتريا.

أحجام التبادل الهوائي (Air Exchange Volumes)

لابد من تبادل الهواء الخارجي البارد باستمرار مع الهواء الدافيء داخل المخزن لكي يتم التخلص من حرارة الحقل ومن حرارة التنفس المتولدة أثناء فترة التخزين. و يجب تبريد المحاصيل إلى درجة حرارة التخزين الموصى بها بسرعة

ممكنة اقتصاديًا بعد الحصاد. وقد تكون فترة التبريد المثلى ٢٤ ساعة، ولكن قد يتطلب نظام تبريد فعلي عدة أسابيع لكي يصل المنتج إلى درجة حرارة التخزين الموصى بها. ويحدد فترة التبريد الفعلية كل من: مدى فعالية تصميم وتشغيل نظام التبريد ومعدل تحميل المنتج والوزن الكلي المخزّن والظروف الجوية، وسوف تتحدد كذلك فترة التبريد الفعليةكيفية تشغيل المنشأة ككل.

و يعتمد تبادل الهواء في المخزن بواسطة نظام تهوية على الحصول على كميات كافية من الهواء الخارجي البارد لخفض درجة حرارة حيّز المخزن إلى المستوى المطلوب في التصميم. ولا يمكن تبريد المنتج بسرعة بعد الحصاد بواسطة التهوية إذا كانت الظروف الخارجية عبارة عن أيام وليالي خريف دافئة، وقد يحتاج النظام في بعض الأحيان إلى شهر لكي يصل إلى درجة الحرارة الملائمة. وقد تسبب التهوية المستمرة للتبريد أو للمحافظة على درجات حرارة داخلية أيضًا نوعًا من الصعوبة في المحافظة على رطوبة نسبية مرتفعة، وقد يحدث بعض التجفيف للمنتج. ويمكن- بمجرد الوصول إلى درجة الحرارة الموصى بها والوصول إلى نوعًا من الاتزان مع الظروف المحيطة بالمنتج- خفض معدلات التهوية على الأقل إلى الثلث عن طريق خفض سرعة المروحة أو التشغيل المتقطع للمروحة. ويعتمد النظام الأكثر شيوعًا للتشغيل المتقطع على مضروبات أنصاف الساعات والساعات؛ فعلى سبيل المثال، ثماني ساعات تشغيل و١٦ ساعة إيقاف. ويعتمد التردد ودورة التشغيل على الارتفاع المسموح به لدرجة حرارة المنتج وعلى كمية التكثيف في المخزن.

نظم توزيع الهواء (Air Distribution Systems)

لابد من الأخذ في الاعتبار لتأثيرأحجام الأنابيب في توزيع الهواء ومتطلبات الطاقة عند تصميم أي نظام تهوية. فلابد من العودة إلى المراجع بالنسبة للمعلومات التفصيلية التي تتوافق مع الترتيبات الهندسية الجيدة. وتساعد القائمة التالية من الإرشادات العامة على الوصول إلى نظام توزيع هوائي كفء:

١ - تحديد سرعات الهواء بما لا يزيد على ٥ (م/ث) لتقليل فواقد الضاغط.

٢ - توفير مساحة كلية لمخرَج فعّال لكل أنبوبة على الأقل من ٧٥ إلى ١٠٠٪ من مساحة مقطع مدخل الماسورة، وذلك للمحافظة على تصرف منتظم بطول الماسورة.

٣ - استخدام أقطار فتحات تصرف بالنسبة لنظم توزيع هواء الأرضية المثقبة بما لايقل عن ٣٢م وعرض الفتحة على الأقل ١٣ م لتجنب الانسداد بالأتربة والقاذورات وغيرها.

٤ - تحديد المسافات بين فتحات أنابيب الصرف بالنسبة لنظم الأرضيات المثقبة بما لا تزيد على ٣٠ سم بين بعضها البعض، وبما لاتزيد المسافات بين مراكز الأنابيب على ٣ م تقريبًا.

٥ - المحافظة على سرعة عودة الهواء من الأجزاء الجانبية إلى المروحة عند ٥ (م/ ث) أو أقل.

٦ - المحافظة على سرعة عودة الهواء من الحيّز أسفل الغرفة عند حوالي ٢,٥ (م/ ث).

٧ - تركيب نظام الأنابيب ومواضع المراوح في غرفة التخزين في وضع متماثل.

٨- الحد بقدر الإمكان من دورانات اتجاه سريان الهواء.

٩- وتجنب بقدر الإمكان وضع المواسير بالقرب من أي دورانات أو عوائق فى الحيّز تحت الأرضية.

و يجب أن يقوم نظام توزيع الهواء بتزويد كميات متساوية من الهواء إلى المنتجات في كل المناطق في المخزن. وقد يسبب دفع المروحة لهواء خارجي تحت درجة التجمد إلى المخزن من خلال فتحة مدخل بدون الاستفادة من أنبوبة توزيع الهواء إلى تجمد المنتج الواقع بالقرب من فتحات الهواء مع ترك مناطق أخرى في المخزن دافئة.

ويمكن تركيب أنبوبة توزيع الهواء عند العصب المنخفض والمستخدم لتحميل سقف جَمَلوني أو ربطها مع العوارض التي تستخدم في تثبيت السقف. ويسمح

استخدام سقف عازل مفتوح بحركة هواء حرة من فتحات الأنابيب إلى أجناب المخزن. ويمكن أيضًا تركيب الأنابيب فوق السقف ثم توجيه تصرف الهواء إلى أسفل السقف باستخدام عواكس ملائمة. وعامة يكون للأنبوبة البلاستيكية المثقبة نفس القطر على مدى طولها المستخدم. ويمكن تقليل أو زيادة قطر الأنبوبة على أبعاد منتظمة للتوفير في المواد المستخدمة والمحافظة على اتزان سريان الهواء.

و يجب حماية فتحة الدخول الكلية بغطاء ضد الظروف الجوية المعاكسة، وخاصةً الرياح العاتية التي قد تغيّر من سعة نظام التهوية. ويجب أن تحتوي مخارج الهواء من المبنى على نفس مساحة مقطع فتحات مداخل هواء المروحة. و يمكن أن تكون المخارج عبارة عن أبواب أو حواجز مبرمجة تعمل باستخدام أجهزة تحكم متصلة مع حواجز أومثبطات مركبة على مداخل الهواء.

ومن الضروري تقليب الهواء داخل المخزن بعدما يصل المنتج إلى درجة حرارة التخزين الموصى بها، وعندما لا يحتاج النظام إلى درجة حرارة الهواء الخارجية. ويتيح تقليب للهواء مرتين يوميًا بحد أدنى ٣٠ دقيقة في كل مرة توفير ظروف تخزين منتظمة. وتتغيّر الفترات الزمنية باختلاف أحجام التشغيل، ولكن عادة سوف يكون كافيًا ضبط ساعة الدوام المستخدمة لتشغيل مروحة التهوية لإنجاز برنامج العاملين. وسوف يؤدي طرد بعض الهواء الداخلي إلى الخارج على فترات إلى التخلص من الغازات الضارة ونواتج التنفس من المخزن. ولابد من التحكم في درجة الحرارة التصميمية خلال النظام للتأكد من عدم حدوث أي تجمد في الأجواء الباردة، كما لا يسمح بدرجات الحرارة داخل المخزن إلى الارتفاع لمستويات عالية للغاية إذا حدث عطل للتجهيزات الآلية وتم استخدام التحكم اليدوي. ويوجد لدى ظروف درجات الحرارة المرتفعة للغاية والمنخفضة كذلك تأثيرات ضارة على المنتج المخزن.

وسوف تعمل أنبوبة رأسية بنفس حجم أنبوبة توزيع الهواء الرئيسية والممتدة من المروحة إلى حوالي ٠,٦ م فوق الأرضية على سحب الهواء البارد من الأرضية ثم إعادة توزيعه فوق المنتج. ومن الضروري استخدام حواجز ومثبّطات عند فتحات

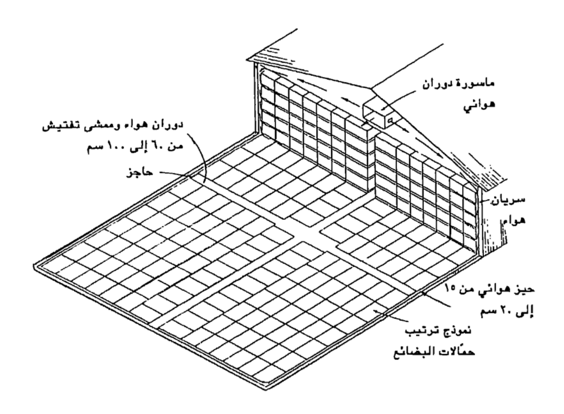
التهوية يتم التحكم فيها باستخدام الثرموستات، وذلك لمساعدة تلك الوحدة في نظام معاملة الهواء. وتوجد تجهيزات تجارية متوافرة لهذا التطبيق.

ترتيبات التحميل والتكديس (Stacking and Loading Arrangements)

يجب ترتيب صناديق المنتجات داخل المخزن بطريقة تتيح أقصى تقليب للهواء مع سهولة التحميل والتفريغ والمتابعة البصرية للمنتج. وتتغيّر كفاءة استخدام المساحات من مخزن إلى آخر؛ نظرًا لوجود أعراض مخازن مختلفة، وأيضًا بعض التغيّرات في أحجام الصناديق المستخدمة بداخل المخزن.

و يجب ترتيب وضع البالات متوازية بطول الحوائط الجانبية للمبنى وعلى مسافات من ١٥ إلى ٢٠ سم بعيدًا عن الحائط. و يتيح استخدام مصدة خشبية بعرض من ١٥ إلى ٢٠ سم في المنشآت الحديثة ومتصلة بالأرضية توفير تلك المساحة. ويمكن للهواء أن يتحرك خارجيًا من أنبوبة التوزيع الرأسية عبر قمة البالات المكدّسة، ثم إلى أسفل من خلال الحيّز بين الحائط والبالات والذي يشكل غرفة متهيّلة لتوزيع الهواء بين صناديق البالات. ويتم صرف الهواء بعد ذلك بين مزالق صناديق البالات إلى الممر الرئيسي، حيث يمكن إما طرد الهواء كليًا من المبنى أو تقليبه من خلال نظام التهوية أو خلطه جزئيًا مع هواء الجو الخارجي النقي، وذلك اعتمادًا على ظروف درجات الحرارة داخل المخزن. ولا يمكن وضع كل الصناديق بأبعادها الطويلة موازية للحائط نتيجة لمتطلبات الفراغات بين التجهيزات (أي توضع صناديق البالات الأخيرة بزوايا مع الحوائط الجانبية لتوفير ممر مركزي في المخزن).

و يجب أن يوجد ممشى أو ممر متعامد على الأقل مرة كل ٢٥ إلى ٣٠ م بطول المبنى ليسمح بمراقبة المنتج. ويجب أيضًا توفير حيّز بارتفاع من ٠,٦ إلى ١ م فوق قمة البالات المكدّسة للسماح بالتقليب الجيد للهواء إذا كان المخزن مسقوفًا. ويتوفّر من هذا الحيّز أيضًا جَمَلون سقفي مفتوح. و يوضح الشكل رقم (١٣,٣) النظام الموصى باستخدامه.



شكل (١٣,٣). نظام تهوية شائع الاستخدام مع منتج مخزن في صناديق مكدسة على نقالات خشبية.

اختيار التجهيزات (Equipment Selection)

يتكون نظام تبادل هوائي ميكانيكي من الأجزاء التالية:

١ - مروحة أو أكثر.

٢ - نظام توزيع الهواء.

٣ - مدخل هواء يتم التحكم فيه سواء باستخدام ثرموستات أو يدويًا، وكذلك مخرج هواء مناظر.

٤ - نظم تحكم في درجة الحرارة والوقت المطلوب لنظام تشغيل المراوح.

٥ - نظام ترتيب ملائم لصناديق البالات المكدسة للحصول على توزيع وتقليب جيد للهواء.

ويمكن استخدام مروحة سواء مع نظام التهوية الضاغط أو الطارد. و يجب اختيار مروحة تصنيف (AMCA) على أساس سعتها الحجمية الطاردة بالنسبة لضغط إستاتيكي معلوم بدلاً من البحث عن عدد الريش المناسبة أو القطر أو التكاليف. و يجب اختيار المروحة ذات كفاءة تشغيل مرتفعة، بحيث يمكن توفير الطاقة وخفض تكلفة التشغيل. ويمكن أخذ مستوى الضوضاء في الاعتبار عند الاستعمال في المناطق المزدحمة بالسكان.

ويجب تركيب المروحة وماسورة توزيع الهواء فوق المنتج، بحيث يسمح بمرور هواء التبريد من فوق وحول ومن خلال المنتج. ويجب اختيار سعة المروحة المطلوبة أو معدل السريان الحجمي على أساس سعة المروحة عند الضاغط الاستاتيكي المطلوب. و يعتمد الضغط المطلوب الذي سوف تقوم المروحة بتطويره على حجم فتحة مدخل الهواء وأنبوبة التوزيع وشكل مخرجها الهوائي وحجم مخرج الهواء من المخزن (الطرد) وخصائص أداء نوع المروحة. ويتم عادة دفع الهواء في حالة التخزين المتراكم تحت المنتج؛ أي لابد أيضًا من أخذ مقاومة الحمل المتراكم الاستاتيكية لسريان الهواء في الاعتبار عند حساب الضاغط الإستاتيكي المطلوب. ولن تؤدي المروحة المطلوب منها إذا كانت مركبات النظام الأخرى ذات أحجام أقل من المطلوب. فلابد من وجود مركبات متزنة لدى نظام معاملة الهواء - متضمنًا المروحة- للتأكد من دفع معدل الهواء المطلوب.

ويجب أن تساوي مساحة مقطع مداخل هواء المروحة واحد متر مربع لكل ٥ (م٣/ ث) من الهواء المدفوع أو المطرود من النظام. و يجب تركيب الحواجز والمثّبطات

والأبواب التي تعمل بالكهرباء على مداخل المراوح للتحكم في كمية الهواء الداخل. ويمكن غلق المداخل كليًا عند عدم تشغيل المراوح؛ نظرًا لانخفاض كمية الهواء الخارجي المطلوبة عند اقتراب المخزن من درجة الحرارة التصميمية المطلوبة، (فعلى سبيل المثال، يتم الغلق في الأجواء شديدة البرودة لمنع التجمد أو عند الوصول إلى درجة الحرارة التصميمية).

أجهزة التحكم (Controls)

تتوافر في الأسواق أجهزة التحكم في تشغيل المراوح والخاصة بضبط درجة الحرارة (الثرموستات)، كما تستخدم في التحكم في عملية خلط هواء المخزن الدافيء مع هواء خارجي بارد. ويعتبر ذلك مرغوبًا خاصةً عندما تكون درجة الحرارة الخارجية أقل من درجة حرارة التخزين الموصى بها، وذلك لتقليل مخاطر التبريد أو التجميد للمنتج المخزن.

وتتكون أقل الأجهزة المطلوبة لتشغيل المروحة آليًا من وحدة تحكم في درجة حرارة ومفتاح تشغيل-إيقاف. و قد يستخدم أيضًا ثرموستات لضبط الحواجز الهوائية التي تعمل كهربائيًا. ويجب ضبط نسبة الهواء البارد الداخل إلى المخزن-يدويًا أو آليًا- بمجرد اقتراب درجة حرارة المخزن من مستوى درجة الحرارة المرغوبة. و يجب استخدام ساعة دوام للتحكم في دورة تقليب الهواء داخل المبنى بعد وصول بيئة المخزن إلى درجة حرارة التشغيل التصميمية.

ويمكن أيضًا إنشاء نظام تجزيئي يستخدم الثرموستات ومحركات كهربائية للمثبّطات، وذلك للتحكم آليًا في خلط كل من الهواء الداخلي والخارجي. و يعتبر ذلك النظام من أكثر النظم المرغوبة خاصةً إذا كان يصعب دمج التوقعات الترددية وعمليات الضبط اليدوية والضرورية لنظام التهوية مع أسلوب إدارة نظام التخزين.

مثال عن نظام تهوية الكُرنب

(CABBAGE VENTILATION SYSTEM EXAMPLE)

الموقع (Situation)

تخزن نسبة كبيرة من محصول الكُرنب أواخر الخريف في الولايات الشمالية ثم تباع في الشتاء وبداية الربيع، ويتنافس في ذلك مع المحصول الطازج من الولايات الجنوبية في أواخر الشتاء. ومن الضروري توفير ظروف بيئية متحكم فيها ومخازن معدة جيداً من ناحية التصميم والإدارة، وذلك للتأكد من الإمداد المستمر من الكرنب الطازج إلى السوق وللاستعمالات المختلفة أثناء تلك الفترة الطويلة.

وتتنوع المخازن المستخدمة من منشآت تستعمل كميات قليلة من المواد العازلة مع باب مفتوح والتبريد بواسطة حركة هواء بالحمل الطبيعي إلى منشآت مبردة ومعزولة جيداً مع وسط يتم التحكم فيه. ويمكن مد فصل تخزين الكرنب تحت أقل ظروف تحكم بيئي إلى يناير، ومع أقصى ظروف تحكم بيئي حتى مايو أو يونيو.

وتكون درجة حرارة تخزين الكرنب المثلى صفر °م. ويعتبر مدى درجة حرارة تخزين من صفر إلى ٢ °م مناسبًا للتشغيل مع تفضيل استخدام القيمة الصغرى لذلك المدى. وسوف يتجمد الكرنب إذا وصلت السوائل داخل الخلايا إلى درجة حرارة حوالي – ١,٠ °م، وقد يسبب ذلك تلفًا للمنتج المسوق.

ويجب المحافظة على درجة الحرارة صفر °م بانتظام في المخزن بواسطة نظام تحكم بيئي. فلابد من إضافة وحدة تحكم في درجة الحرارة خاصة بأمان المنتج للتأكد من أن درجة حرارة الهواء الخارجي أو الهواء المبرّد ميكانيكيًا خلال المخزن لايتسبب في تجمد الكرنب. وقد يتطلب الأمر بعض وسائل التدفئة للمخزن في حالة انخفاض درجة حرارة الهواء الخارجي للغاية مع عدم وجود مواد عازلة على المخزن أو إذا كان المخزن ممتلئًا جزئيًا في جو قارص البرودة. فقد تكون كمية الحرارة المتولدة بالتنفس في تلك الحالات غير كافيةً للمحافظة على درجة حرارة المخزن المطلوبة، وقد يحدث تجمد للكرنب.

ويجب المحافظة على رطوبة نسبية مرتفعة (من ٩٠ إلى ٩٥٪) في الهواء الطبيعي داخل المخزن. ولكن نظرًا لطول عمر الكرنب، فإن بعض الكائنات الحيّة الفاسدة قد تزدهر وتنشط حتى عند نسبة رطوبة مرتفعة ودرجة حرارة منخفضة.

ويقترح استخدام معدل سريان حجمي ٠,٠١٣ (م٣/ ث) لكل ١٠٠٠ كجم من الكرنب كدليل تصميمي لنظام التهوية للكرنب المخزن في صناديق. وقد تم الحصول- عند حساب معدل التهوية الكلي المطلوب لمخزن ممتليء بصناديق من الكرنب بناءً على تبادل حجم هواء المخزن (فارغ) كليًا مرة كل ٥ دقائق (أي اثنتى عشرة مرة في الساعة)- على نفس النتائج كما لو تم استخدام التوصية ٠,٠١٣ (م٣/ ث) لكل ١٠٠٠ كجم.

مثال تطبيقي (Application Example)

مبنى بطول ٣٠ م وعرض ١٥م وارتفاع ٦ م مكدّس بصناديق بارتفاع خمسة أمتار ويستخدم لتخزين حوالي ٨٦٠٠٠٠ كجم من الكرنب. احسب معدل التهوية الكلي المطلوب؟.

الحل.

يتم حساب معدل التهوية الكلي على أساس حاصل ضرب ٨٦٠٠٠٠ كجم من الكرنب في ٠,٠١٣ (م٣/ ث) لكل ١٠٠٠ كجم من الكرنب، بالنسبة لمروحة ذات دفع كلي ١١ (م٣/ ث) عند ضغط استاتيكي ٧٥ باسكالاً. ويتطلب ذلك أنبوبة توزيع مركزي (١,٨×١,٢) م متصلة بماسورة مساحة مقطعها (١,٢ × ٠,٣) م وممتدة تقريبًا ٢٩ م داخل المخزن. لاحظ أن اختيار مساحة مقطع الماسورة اعتمد أساسًا على الحد من سرعة الهواء إلى ٥ (م/ ث) أو أقل. ويجب ملاحظة وجود أربعة وعشرين مخرجًا أنبوبيًا (٢٥ × ٣٠) سم موزعة على مسافات ١,٢ م من المركز على كل من جانبي الماسورة. ويعتمد حجم المخرج على الحصول على سرعة خروج نافورة هوائية ٥ (م/ ث) لإحداث حركة للهواء صوب الحوائط الجانبية للمخزن. ويكون لدى الماسورة الرأسية والممتدة من المروحة إلى أرضية

المخزن مساحة مقطع (٢,١ × ١,٨) م، وتمتد إلى أسفل حتى حوالي ٦٠ سم من الأرضية.

ويجب ضبط نظام التحكم في درجة الحرارة ليسمح للمروحة بالعمل في أي وقت ترتفع فيه درجة حرارة الهواء الداخلي عن درجة حرارة الهواء الخارجية، ولكن فقط في حالة ما إذا كانت درجة حرارة المخزن أعلى من درجة الحرارة التصميمية. ويجب أن يوجد ثرموستات آخر يتحكم في محركات كهربائية خاصة بفتح أو ضبط الحواجز الداخلية للسماح بكمية منتظمة من الهواء الخارجي البارد بالدخول إلى المخزن عند الحاجة. وتتضمن المنشأة أيضًا ثرموستاتًا يركب بالقرب من مستوى الأرضية للتأكد من أن درجة حرارة الهواء في المبنى لاتقل عن صفر°م. ويجب أن توجد أيضًا ساعة ميقات كجزء من نظام التحكم الكهربائي لتزويد فترتين (٣٠ دقيقة/ فترة) على الأقل في اليوم لتقليب هواء المخزن عندما يصل النظام إلى درجة الحرارة التصميمية المتزنة، وعندما يتم إيقاف المراوح باستخدام أجهزة التحكم في نظام التهوية.

ولابد أن يتم ضبط تزامن حواجز مخارج الهواء - والتي يتم التحكم فيها كهربائيًا - لتفتح عند أي وقت يتم فيه فتح حواجز المداخل. ولايتطلب الأمر أي مراوح إضافية للتخلص من هواء المخزن. ولاتوجد أيضًا ضرورة لوجود مراوح مزدوجة (نظم دفع/ سحب) تعمل لحظيًا على دفع هواء من أو إلى المخزن.

مثال عن نظام تهوية البطاطس

(POTATO VENTILATION SYSTEM EXAMPLE)

الموقع (Situation)

تكون درجة حرارة التخزين الموصى باستخدامها في فترة إشباع جدران الخلايا بالسُّبْرين وتحويلها إلى فلين - أو ما يطلق عليها بعملية السَّبْرَنَة- لكل البطاطس من ١٠ إلى ١٥°م. ويشكل هذا المدى أيضًا التوصية لرعاية تقاوي البطاطس السابقة التقطيع[٣٩].

و يعتبر مدى درجات الحرارة من ٨,٩ إلى ١١,٧ °م مُرضيًا لكافة الاستخدامات لفترة تخزين لا تزيد على ثلاثة شهور. وتنتهي فترة السكون- والتي لا يحدث إنبات خلالها - إذا طالت الفترة عن ذلك أو ارتفعت درجة الحرارة[٤٠]. ونظراً لأن عملية الإنبات تحتاج إلى سطح ذي نفاذية عالية للغاية، فإنه سوف يتبع عملية الإنبات فقد كبير للرطوبة. ويكون مدى درجات الحرارة الموصى باستخدامه لتقاوي البطاطس وبطاطس المائدة لفترة تخزين طويلة من ٣,٣ إلى ٧,٢ °م. وعامة تُحفظ تقاوي البطاطس عند النصف المنخفض من هذا المدى، بينما تحفظ بطاطس المائدة عند النصف المرتفع[٢]. وتكون القدرة على احتمالات خفض السكريات، بالنسبة لتصنيع رقاقات البطاطس، أكثر صرامة من أي شكل من أشكال العمليات الأخرى. ويوصى عامةً باستخدام درجة حرارة تخزين في المدى من ١٠ إلى ١٢,٨ °م [٢].

وقد وجد (Schippers) ، من بين العديد من الباحثين، أن أكثر الأشياء ضرراً أثناء فترة تطور السبرنة والأدمات المحيطة هو الارتفاع الكبير في الرطوبة النسبية [٤١]. ولا تبدو الرطوبة النسبية المرتفعة في فترات التخزين بعد ذلك حرجة، حيث لابد وأن تحتفظ المنشأة بانحدار حراري أكبر، وبناءً عليه التعرض بمعدل أكبر لعملية تكثيف سطحي[٤٢].

و تكون التوصية التصميمية المستخدمة حاليًا لمعدل سريان الهواء أثناء التبريد كالتالي: استخدام من ٠,٠٢٦ إلى ٠,٠٣٨ م³/ (كجم. ساعة) للحفاظ على درجات حرارة أقل من ١٠ °م؛ و استخدام من ٠,٠٣٨ إلى ٠,٠٥٦ م³/ (كجم. ساعة) للحفاظ على درجات حرارة أعلى من ١٠ °م. إما إذا وجدت ظروف قاسية مثل بطاطس حقلية مجمدة أو جذور بكتيرية غير متصلبة والتي يتولد عنها ماء حر في الكومة، فإن التحكم يكون أفضل عند استخدام معدل سريان ٠,١١٣ م³/ (كجم. ساعة) عن المعدل ٠,٠٣٨ م³ / (كجم. ساعة)[٤٣].

و تعطي معدلات السريان الحالية والموصى باستخدامها سرعات هواء بين فرجات البطاطس حوالي ٠,١ من السرعات المستخدمة عامة في التبريد الهوائي- المدفوع إلى الفاكهة والخضر. وتعتمد عملية تحويل معدلات الهواء لوحدة الأوزان إلى سرعات بين الفُرْجات على كثافة بطاطس ٦٧٣ كجم لكل م³ ومساحة سريان

بَفْرُجيّة تعادل ٢٥٪ من مساحة الأرضية.

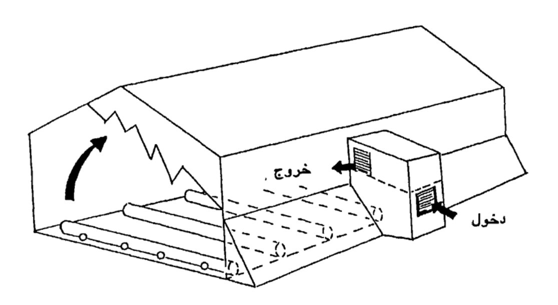
مثال تطبيقي (Application Example)

سوف يتم تصميم نظامين للتهوية لخزان ٣٠,٥ م طولاً و١٢م عرضًا في ٥,٥ م ارتفاعًا. يستخدم أحد النظم برابخ معرّجة من الألومنيوم، وذلك كما هو شائع في الولايات المتحدة الغربية. ويستخدم النظام الآخر خنادق أرضية وتنسيق مثلثي للأنابيب بطول الحوائط، وذلك كما هو شائع في الوسط الغربي والشرقي. وسوف يتم استخدام عمق ممتليء منتظم حوالي ٥ م. ويستخدم حجم سريان هوائي كلي ١٣ (م٣ / ث) بناء على معدل سريان للهواء ٠٣٨, ٠ م٣/ (كجم. ساعة).

١- نظام غربي (Western System) (انظر الشكل رقم ٤ ,١٣)

تركب المروحة عادة في النقطة المتوسطة من طول الخزان بطول أحد الحوائط الجانبية. و بفرض مساحة حيّز للمروحة ١,٥ متر مربع، فإنه سوف تكون الحاجة إلى أنبوبتي تزويد هواء رئيسية. وتستخدم البرابخ المعرجة والمصنوعة من الألومنيوم كأنابيب جانبية تمتد إلى الخزان في اتجاه متعامد على أنبوبتي التزويد الرئيسيتين. وتمتد تلك البرابخ أيضًا إلى حوالي ١ م من الحائط الجانبي المقابل. ويوجد، بالإضافة إلى فتحات التصرف النصف قطرية فتحات أخرى تم إحداثها في نهاية الأغطية لتلك البرابخ بحيث يتم صرف الهواء في اتجاه الحائط الجانبي المقابل.

وسوف تقوم كل أنبوبة من الأنبوبتين الرئيسيتين بتزويد ٦,٥ (م٣/ ث) بالنسبة لمعدل سريان هوائي كلي ١٣ (م/ ث). وتكون مساحة مقطع كل أنبوبة ٢,٥٧ م٢، وذلك مع فرض سرعة تصميمية ٢,٥ (م٣/ ث). ويمكن تقليل مساحة مقطع كل أنبوبة تزويد كلما بَعُدت المسافة من المروحة؛ نظراً لانخفاض كمية الهواء المحمول نتيجة الصرف من الأجناب.



شكل (٤ ,١٣). نظام تهوية شائع الاستخدام غرب الولايات المتحدة

ويتم استخدام أحد عشر بربخًا جانبيًا بالنسبة لخزان طوله ٣٠,٥ م على مسافات ٣ م. ويؤخذ ذلك الرقم من البرابخ في الحساب الحصول على صرف جانبي مجاور لكل حائط نهائي لخفض تأثير درجات الحرارة الخارجية على كل من الحائط النهائي وأساس أو قاعدة المخزن. وسوف يدفع كل بربخ حوالي ١,٢ (م٣/ ث). ونجد- بالنسبة للسرعة المسموح بها ٥ (م/ ث)- أن مساحة المقطع المطلوبة تكون ٢٣٣٠ سم٢، والتي يمكن الحصول عليها باستخدام أنبوبة ذات قطر ٥٤,٥ سم.

و تكون مساحة التصرف الكلية الموصى بها لكل بربخ ١٧٤٨ سم٢، والتي تعادل ٧٥٪ من مساحة مقطع مدخل الأنبوبة. ونظرًا لأن قطر الفتحة ٣٨م شائع الاستخدام ويزود مساحة تصرف ١١,٣ سم٢، فإن عدد الفتحات المطلوبة لكل بربخ يكون ١٥٥ فتحة. ويتم إحداث فتحات مزدوجة على مسافات متساوية بطول الأنبوبة وبزاوية ميل ٤٥ درجة على كل جانب رأسي. ونظرًا لقرب تلك الفتحات من الأرضية في قاع الأنبوبة، فقد تسبب البطاطس الصغيرة في حدوث انسدادات

لتلك الفتحات. وتوجد الفتحات الجانبية على مسافات ١٥,٦ سم وفي المراكز. وسوف يوجد- مع بربخ بطول ١١ م وفتحات على مسافة ١٥ سم-٧٤ فاصل يعطي ١٤٨ فتحة في البربخ وثمان فتحات عند الغطاء النهائي.

وتكون مساحة المقطع المطلوبة عند منطقة الدوران ٢,٦ م٢ بالنسبة لسرعة هواء ٥ (م/ث).

وسوف يكون لدى نظام التهوية الكلي مع مناطق الدوران والمشبطات وغيرهما عند السرعات المقترحة ضغط استاتيكي تشغيلي حوالي ٣١٠ باسكالات. وسوف يكون ضغط التشغيل الكلي أعلى إذا تمت تغذية كل الهواء مباشرةً من خلال ملفات مبخر.

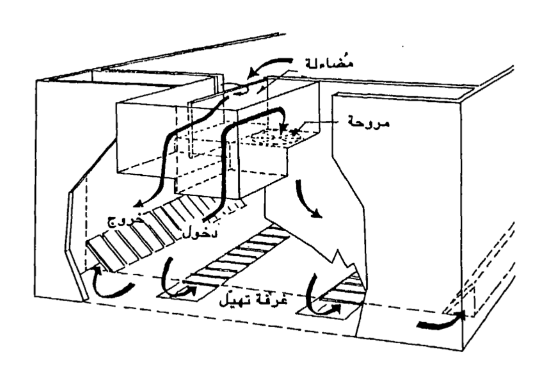
٢- *النظم الشرقية والغربية المتوسطة* *(Midwest and Eastern Systems)*

(انظر الشكل رقم (٥ ,١٣))

تركب المروحة في نقطة منتصف أحد الحوائط النهائية. وتبنى غرفة هوائية بعرض النهاية الكاملة للخزان. وتُربّط الألواح الأردوازية بمسامير مع بعضها أفقيًا ثم تمال في اتجاه كل حائط جانبي بطول ٣٠,٥ م لتشكل أنبوبة ذات شكل مثلثي. وعادة ما تدفن الأنابيب الداخلية في الأرضية. وتمتد كل الأنابيب بالطول الكلي للخزانات (٣٠,٥م).

وتكون مساحة المقطع المطلوبة للغرفة الهوائية بالنسبة لسرعة سريان ٢,٥ (م/ث) هي ٥,١ م٢، وبتلك الوسيلة يكون عرض الغرفة الهوائية المطلوبة ٤٢ م بالنسبة لعرض خزان ١٢م. وعادة مايتم إنشاء تلك الغُرف بعرض حوالي ١م لتوافق هيكل المروحة والسماح للأفراد بسهولة الحركة إلى أجهزة التحكم في كل من التهوية والرطوبة والدفايات والإضاءة.

ويحتاج ذلك النظام إلى خمسة أنابيب على مسافات ٣-م. ويتطلب الخزان ثلاثة خنادق أرضية ٣ م من المركز وأنبوبتين عند الحائطين الجانبين. ويزود كل خندق هواء لكل ٣ م من عرض الخزان، كما تزود كل أنبوبة حائط هواء لكل ١,٥ م من



شكل (١٣,٥). نظام تهوية شائع الاستخدام في الوسط-الغربي للولايات المتحدة

عرض الخزان. وتكون مساحة المقطع ومعدل السريان لكل خندق من الخنادق الثلاثة ٠,٦٤ م٢ و٣,٢٥ (م٣/ ث) على الترتيب. ويكون أكبر عرض للخندق بحيث يسمح بمد لوح خشبي ثقيل بسمك ٧,٦ سم على هيئة جسر بدون السقوط حوالي ٧٦ سم. وتكون الحاجة إلى خندق بعمق ٨٥ سم وعرض ٧٦ سم عند نهاية المدخل. ويمكن خفض العمق ٨٥ سم تدريجيًا مع استمرار صرف الهواء بطول الأنبوبة.

وتغطى الفتحات الموجودة مع هذا النوع من الأنابيب بالبطاطس. وتوضح البيانات الحقلية[٤٤،٤٥] أن ٦٥ إلى ٧٥٪ من مساحة الفتحة تنسد بالبطاطس وتصبح مساحة التصرف الفعّالة من ٢٥ إلى ٣٥٪ من المساحة التي تم إنشاؤها في البداية. وبناءً على تلك الحسابات، فإنه يفترض أن ٧٠٪ من مساحة الفتحة سوف تنسد بالبطاطس.

وتكون مساحة التصرف الفعّالة من كل خندق أرضي- بناءً على ٧٥٪ من مساحة المقطع- ٤٨ , ٠ م٢ . وتكون مساحة التصرف المطلوبة ٦ , ١م٢ على اعتبار نسبة انسداد بالبطاطس ٧٠٪ . إن الاستخدام للألواح الخشبية التي على هيئة جسور - حوالي ٦ , ٢٨ سم عرض مع فتحة ٥٤ , ٢ سم- سوف يعطي فاصلاً مفتوحًا ١ , ٣١ سم، وبتلك الوسيلة يكون عدد الفتحات المطلوبة ٩٦ فتحة مساحة كل منها ١٦٧ سم٢ . ويكون طول الفتحة المطلوب ٦ , ٦٥ سم لكل عرض للفتحة ٥٤ , ٢ سم . ونظرًا لأن عرض الخندق ٧٦ سم، فإن استخدام سمك ٢,٥٤ سم في مباعدة طويلة ٥ سم بين الألواح الخشبية عند كل نهاية سوف يعطي مساحة الفتحة المطلوبة .

وتكون مساحة المقطع ومعدل السريان لكل من الأنبوبتين المثلثتين على الحوائط الجانبية ٣ م٢ و١,٦(م٣ / ث) على الترتيب . وتعتمد تلك الحسابات على أساس أن مواسير الحوائط الجانبية تعامل ٢٥٪ من معدل سريان الهواء الكلي .

وعامة يتم إنشاء تلك المواسير بحيث يشكل الوجه المائل - وتر المثلث- من الماسورة مثلثًا ذا نسب ٣ : ٤ : ٥ لكل من القاعدة : الارتفاع : الوتر . وتتولد عن تلك النسب بالنسبة للبطاطس قوى ضغط متوازنة تمنع انزلاق الأنابيب عندما تكون مغطاة بالبطاطس . ويأتي استخدام ٦٩ سم للقاعدة و٩٢ سم للارتفاع قريبًا للمساحة والنسبة الهندسية المرغوبة، وذلك عندما تكون المساحة ٣٢ , ٠ م٢ . وتكون الحاجة إلى وتر للمثلث ١,١٥ م .

وتكون مساحة مقطع التصرف الفعّالة ومساحة مقطع التصرف التي تم إنشاؤها ٢٤ , ٠ و٨ , ٠م٢ على الترتيب . وينتج عن استخدام ٥ سم في ٣٠ سم للألواح الخشبية مع عرض للفتحة ١٣ م مسافة للفتحات ٧ ,٢٨ سم . ويكون عدد الفتحات المطلوبة ٧ , ١مع مساحة فتحة ٧٤,٧ سم٢ . ويكون طول الفتحة المطلوب ٩ , ٥٨ سم بالنسبة لعرض فتحة ٢٧ , ٠ .

ويكون طول وتر المثلث المطلوب للماسورة ١,١٥م، وعليه فإنه لابد من إزالة ٥٦ سم من الوتر للحصول على طول فتحة صحيحة . وتعتبر منطقة الدوران هي نفس منطقة الدوران فى المثال السابق .

و يكون لنظام التهوية الكلي عند سرعات مقترحة ضغط تشغيل إستاتيكي كلي ١٩٠ باسكالاً. ولم يؤخذ تأثير ملفات المبخر في الاعتبار عند حساب ذلك الضغط.

و تزداد الضغوط الإستاتيكية لنظام التشغيل إذا وجدت الأتربة والمواد الغريبة في الخزان. وعامة نجد أن البطاطس النظيفة والتي بدون براعم لها نفس مقاومة سريان الهواء لكيزان الذرة النظيفة. أما البطاطس ذات البراعم أو القذرة للغاية أو الاثنين معًا، فإن لها مقاومة مماثلة لمقاومة الذرة المفروطة (المنزوعة الكيزان). ويكون نظام توزيع الهواء العامل الأساسي في المقاومة الكلية في المخازن التجارية النظيفة نسبيًا. ونموذجيًا، تكون مقاومة المنتج من ٥ إلى ١٠٪ من مقاومة النظام الكلي. وتكون نظم التحكم والمثبّطات المستخدمة في مخازن البطاطس مماثلة لتلك التي تستخدم في مخازن الكرنب.

المراجع

1. Mitchell, F. G., R. Guillou and R. A. Parsons. 1972. Commercial cooling of fruits and vegetables. California Agr. Exp. Station Manual 43, Berkeley, California.

2. Lutz, J. M. and R. E. Hardenberg. 1977. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. U.S. Dept. Agr., Agr. Hdbk. No. 66.

3. Commitment to excellence in the shipment of perishable commodities. 1980. Sea-Land Service, Inc., Elizabeth, New Jersey.

4. Rath, E. 1972. Effects of reverse direction air flow, semi-controlled outside air and semi-controlled relative humidity on respiring perishable commodities. ASHRAE Sym. on Long Haul Transportation of Respiring Perishable Commodities in Refrigerated Containers, pp. 10-13.

5. Holdsworth, S. D. 1970. Heat and mass transfer in the low temperature preservation of food. Int'l. Inst. of Refrigeration. 1970-3 Bulletin, pp. 47-62.

6. Gac, A. 1956. Contribution to the study of the influence of relative humidity and of the rate of circulation of air on the behavior of harvested fruit. La Revue Generals Du Froid, Vol 33:365-379, 505-531, 733-744, 833, 843, 963-979.

7. Wilkinson, B. G. 1965. Some effects of storage under different conditions of humidity on the physical properties of apples. J. Hort. Sci. 40:58-65.

8. Sastry, S. K., C. D. Baird, and D. E. Buffington. 1978. Transpiration rates of certain fruits and vegetables. ASHRAE Trans. 84(2):237-255.

9. Gentry, J. P. 1970. A procedure for rapidly determining transpiration rates and epidermal permeabilities of fruits. Ph.D. thesis. Michigan State University, East Lansing, MI.

10. Dypolt, D. J. 1972. Determination of transpiration rates of green peppers. M.S. thesis. University of Florida, Gainesville.

11. Talbot, M. T. 1973. Transpiration rates of snap green beans. M.S. thesis. University of Florida, Gainesville.

12. Sastry, S. K. and D. E. Buffington. 1982. Transpiration rates of stored perishable commodities: a mathematical model and experiments on tomatoes. ASHRAE Trans. 88(1):159-184.

13. Pieniazek, S. A. 1942. A study of factors influencing the rate of transpiration of apple fruits. Ph.D. thesis. Cornell University, Ithaca, New York.

14. Appleman, C. O., W. D. Kimbrough and C. L. Smith. 1928. Physiological shrinkage of potatoes in storage. Bull. 303, Maryland Agr. Exp. Sta., pp. 159-175.

15. Karmarkar, D. V. and B. M. Joshi. 1942. The relation of the size of the fruit to the loss of weight in storage. India J. Agr. Sci. 10(6):1021-1029.

16. Apeland, J. and H. Baugerod. 1971. Factors affecting weight loss in carrots. ACTA Hortic. No. 20:92-97.

17. Villa, L. G. 1973. Single particle convective moisture loss from horticultural products in storage. Ph.D. thesis. Michigan State University, East Lansing.

18. Pieniazek, S. A. 1943. Maturity of apple fruits in relation to rate of transpiration. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 42:231-237.

19. Maxie, E. C. 1964. Effect of fruit structure and temperature on water loss. Proc. Fruits and Vegetable Perishables Handling Conf., University of California, Davis, pp. 63-64.

20. Leonard, E. R. 1941. Studies in tropical fruits. Preliminary observations on transpiration during ripening. Ann. Bot., London, Vol. 5:89-119.

21. Gac, A. 1971. Equations on weight loss as function of relative humidity. Weight losses in cold storage products (in French) 57(11): 907-914.

22. Robinson, J. E., K. M. Browne and W. G. Burton. 1975. Storage characteristics of some vegetables and soft fruits. Ann. Appl. Biol. Vol. 81:399-408.

23. Sastry, S. K. and D. E. Buffington. 1980. Transpiration rates of stored tomatoes under various environmental conditions. ASAE Paper No. 80-4524, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

24. Buffington, D. E. and S. K. Sastry. 1982. Methodology for determining the most economic storage conditions for tomatoes. Int'l. J. of Refrigeration (in press).

25. Goddard, W. F. 1972. Air distribution—the common denominator. ASHRAE Sym. on Long Haul Transportation of Respiring Perishable Commodities in Refrigerated Containers, pg. 5-9.

26. Ryall, A. L. and W. T. Pentzer. 1967. The relation of air movement, container type, and load arrangement to the cooling rate of fruits and vegetables. Proc. of 12th Int'l. Congress of Refrigeration, Vol. 3:87-92.

27. Fisher, D. V. 1960. Cooling rates of apples packed in different containers and stacked at different spacings in cold storage. Proc. of ASHRAE Annual Meeting.

28. Truscott, J. H. L. 1962. Ventilation of fruit containers to facilitate cooling. Proc. Sym. on Standardization of Packaging for Fruits and Vegetables, Wageninger, Netherlands.

29. Guillou, R. 1960. Coolers for fruits and vegetables. California Agr. Exp. Station Bulletin 773, Berkeley, CA.

30. Sainsbury, G. F. 1961. Cooling apples and pears in pallet boxes. U.S. Dept. of Agr. Marketing Research Report 474.

31. Patchen, G. O. and G. F. Sainsbury. 1962. Cooling apples in pallet boxes. U.S. Dept. of Agr. Marketing Research Report 532.

32. Salinsbury, G. F. and H. A. Schomer. 1957. Influence of carton stacking patterns on pear cooling rates. USDA Marketing Research Report 171.

33. Lloyd, J. W. and S. W. Decker. 1934. Factors influencing the refrigeration of packages of apples. Illinois Agr. Exp. Station Bull. 410.

34. Hinsch, R. T., R. H. Hinds, and W. F. Goddard. 1978. Lettuce temperatures in a van container with a reverse airflow circulation system. USDA Marketing Research Report 1082.

35. Gaffney, J. J. 1977. Engineering principles related to the design of systems for air cooling of fruits and vegetables in shipping containers. Proc. 29th Int'l. Conf. on Handling Perishable Agricultural Commodities, Michigan State University, East Lansing.

36. Lentz, C. P., L. Van den Berg, E. G. Jorgensen and R. Sawler. 1971. The design and operation of a jacketed vegetable storage. Canadian Inst. of Food Technology J. 4(1):19-23.

37. Lund, B. M. and A. Kelman. 1977. Determination of the potential for development of bacterial soft rot of potatoes. Amer. Potato J. 54(5):211-225.

38. Furry, R. B., F. M. R. Isonberg and M. C. Jorgensen. 1981. Post harvest controlled atmosphere storage of cabbage. Cornell University, Agr. Expt. Station, Ithaca, NY, No. 19, p. 1-17.

39. Leach, S. S., D. E. Hudson, J. H. Hunter, E. F. Johnson, and J. B. Wilson. 1975. Precutting seed potatoes for higher quality seed and greater returns. Marketing Research Report No. 1035, U.S. Dept. of Agr. Washington, D.C.

40. Wright, R. C. and T. M. Whiteman. 1949. The comparative lengths of dormant periods of 35 varieties of potatoes at different storage temperatures. Amer. Potato J. 26(9):330-335.

41. Schippers, P. A. 1971. The influence of curing conditions on weight loss during storage. Amer. Potato J. 48(8):278-286.

42. Schaper, L. A. and D. E. Hudson. 1971. Biological and engineering factors affecting white potato losses in storage. ASAE Paper No. 71-377, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

43. Hunter, J. H. and J. B. Wilson. 1969. Use of forced air ventilation to control wet breakdown of field-frosted potatoes in storage. Maine Agr. Exp. Station Bulletin 670, University of Maine, Orono.

44. Cloud, H. A. and R. V. Morey. 1980. Distribution duct performance for through ventilation of stored potatoes. TRANSACTIONS of the ASAE 23(5):1213-1218.
45. Schaper, L. A., H. A. Cloud, and D. Lundstrom. 1976. An engineering evaluation of potato storage ventilation system performance. TRANSACTIONS of the ASAE 19(3):584-590.

الفصل الرابع عشر

التهوية - طاقة واقتصاديات*

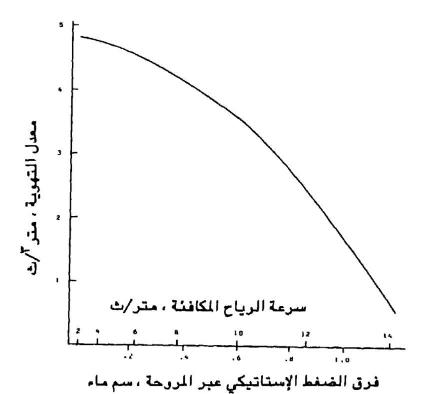
(VENTILATION-ENERGY AND ECONOMICS)

- التهوية المثلى-تصميم وإدارة •حدود عمل تجهيزات نظم التهوية- تصميم وإدارة

يتطلب الوصول إلى أفضل تصميم في نظم التهوية الزراعية بالنسبة لتوفير الطاقة عدة اعتبارات هي: (أ) كفاءة المراوح والمحركات الكهربائية، (ب) تأثير التغيّرات الجوية على معدلات وأنماط دفع الهواء، (جـ) تأثير معدلات التهوية وكثافة التكديس على أحمال التدفئة أو التبريد المطلوبة، (د) تأثير معدل التهوية وطرق توزيعها على الأداء البيولوجي، (هـ) التأثير الطويل المدى للبيئة على نظام التهوية، (و) مواصفات إنشاءات المبنى(عازل). ويوضح الشكل رقم (١ , ١٤) التغيّر في دفع هواء المروحة مع تغيّر الضغط الاستاتيكي، بينما يوضح الشكل رقم (٢ , ١٤) التفاعلات الخاصة بالعوامل البيئية لإيجاد معدلات التهوية بالنسبة لمباني الإنتاج الحيواني غير المدفئة. ويؤخذ في الاعتبار بالنسبة لأفضل تهوية اقتصاديًا كل العوامل السابقة بالإضافة إلى تكلفة الأجهزة والطاقة المستخدمة وتأثير التهوية على تكاليف الإنتاج الأخرى (أي أن متطلبات التغذية وراحة العاملين).

---

* ل. ل. كريستيانسان : جامعة ولاية داكوتا الجنوبية، بروكينس
ر. ل. فيهر : جامعة كينتاكي، ليكسنجتون

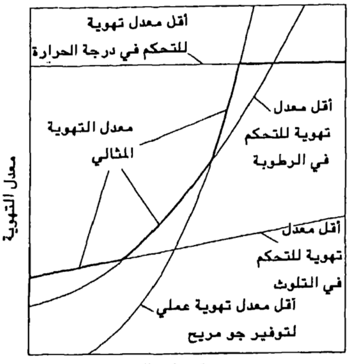


شكل (١٤,١). مقارنة بين الضغط الإستاتيكي وتأثيرات الرياح على دفع هواء المروحة بالنسبة لمروحة محورية نموذجية ٠,٧٥م صُممت للتطبيقات الزراعية.

التهوية المثلى – تصميم وإدارة
(OPTIMAL VENTILATION - DESIGN AND MANAGEMENT)

منطقية التحكم في التهوية (Ventilation Control Logic)

عادة تحتسب معدلات التهوية المثلى بالنسبة للتطبيقات الزراعية عن طريق دراسة التفاعل بين المتغيّرات المتعددة. وقد تنتج عن ذلك سلسلة من نظم التهوية التي من خلالهم يتم إيجاد معدل التهوية الأمثل عن طريق الحد من متغيّر مختلف خلال كل نظام. فعادة ما تتوافق مباني الإنتاج الحيواني والبيوت المحمية ومنشآت تخزين ومعاملة المنتجات الزراعية مع التصنيف الخاص بنظم التهوية المتعددة.



شكل (٢ ,١٤). تأثيرات درجة الحرارة على متطلبات التهوية بالنسبة لمبنى ماشية لا يستخدم أي وسيلة تدفئة (رسم تخطيطي).

ويتم إيجاد معدل التهوية الأمثل في المباني الزراعية عن طريق أربع نظم تحكم، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (٢ ,١٤) (ليس بالضرورة تطبيق الأربع نظم بالنسبة لتطبيق معلوم في جو محدد). وهذه النظم هي (أ) أقصى معدل تهوية عملي للمحافظة على بيئة مناسبة؛ أقصى معدل، (ب) أقل معدل تهوية للمحافظة على أمثل درجة حرارة للوسط؛ تحكم في درجة الحرارة، (جـ) أقل معدل تهوية للتخلص من الرطوبة؛ تحكم في الرطوبة، (د) أقل معدل تهوية للتحكم في التلوث؛ تحكم في الغازات الضارة.

ولابد من الوصول إلى حل وسط بين راحة الحيوان والأداء وتكاليف تشغيل نظم التهوية الثابتة والمتغيّرة لكل نظام من النظم الأربع. فيمكن تحديد أداء الحيوانات اقتصاديًا وربط ذلك بتكاليف الطاقة. وتوجد أيضًا عدة عوامل قد تؤثر على معدل التهوية المثالي مثل التحكم في تركيز الأتربة والضوضاء وراحة العاملين.

أقصى معدل تهوية عملي (Maximum Practical Ventilation Rate)

يعتبر أقصى معدل تهوية عملي للمحافظة على راحة الحيوان هو معدل التهوية الذي يمكن تطبيقه على أدفأ ظروف جوية. فعندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجية أعلى من درجة حرارة بيئة الحيوان المرغوبة، فإن تصميم نظام التهوية يكون عامةً للمحافظة على بيئة مناسبة باستخدام معدل تهوية مرتفع نسبيًا للحد من ارتفاع درجة الحرارة داخل المبنى. وفي الغالب توجد حرارة مضافة إلى هواء التهوية؛ نظراً لتولد الحرارة من الحيوانات، أو نتيجة لدخول أشعة الشمس إلى داخل البيت المحمي في الجزء الدافئ من اليوم. ولابد من مضاعفة معدل التهوية تقريبًا مرة لكل انخفاض في درجة الحرارة المرغوبة مقداره ٥٠٪، وذلك بفرض ثبات عدد الحيوانات أو كمية الحرارة المضافة إلى حيّز التهوية. وعامة لا تتأثر كمية الحرارة المضافة إلى هواء التهوية بمعدل التهوية المستخدم، ولكن قد تتأثر راحة الحيوانات بسرعة الهواء المار فوق أسطح الأجسام. ويُعزى تحسن الإنتاج مع زيادة معدل التهوية إلى زيادة مقدرة الحيوانات على التخلص من الحرارة المتولدة الزائدة. وتوجد أبحاث أخرى قد أوضحت أن سرعات هواء التهوية المرتفعة لديها تأثير ضار على راحة الحيوان وأدائه.

ويمكن استخدام التبريد التبخيري في حالة ما إذا كانت درجة حرارة الجو مرتفعة، وذلك لخفض درجة حرارة الهواء الداخلية عند استخدام أقصى معدل تهوية. ويعمل التبريد التبخيري على خفض درجة الحرارة داخل المبنى وعلى الحد من الإجهاد على الحيوان.

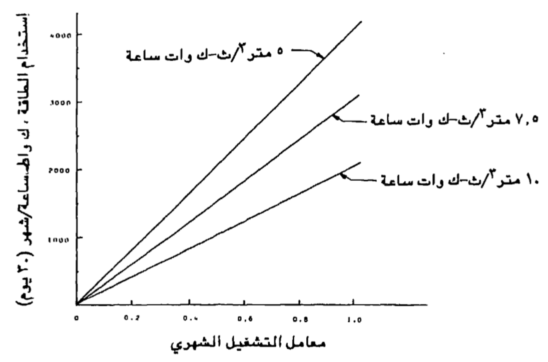
وتعتبر كفاءة كل من المراوح والمحركات الكهربائية مهمة جداً عند استخدام معدلات تهوية مرتفعة لأغراض التحكم في ارتفاع درجة الحرارة في بيئة أدفأ من المرغوبة. ويعني استخدام معدلات مرتفعة من التهوية استهلاك أعلى للطاقة الكهربائية في تشغيل المراوح وانخفاض تأثير التحكم الدقيق في معدل التهوية على أداء كل من الحيوانات والمحاصيل.

ويوضح الفصل الثامن أن معدل التهوية الصيفي الشائع الاستخدام لكل ١٠٠ كجم من وزن الحيوان ٠,٠٥٧ (م٣/ ث). ويُعادل هذا المعدل تقريبًا عشرة أضعاف أقل معدل تهوية بالنسبة للظروف الشتوية. وتقترب متطلبات طاقة التهوية الميكانيكية أثناء الظروف الصيفية من كمية طاقة التدفئة المطلوبة في الشتاء والخاصة بتهيئة

البيئة. فعلى سبيل المثال، كانت متطلبات طاقة التهوية لتدفئة الدواجن أثناء الظروف الصيفية في أحد الأبحاث تساوي ٥٠٪ من متطلبات التدفئة الشتوية لنفس المنشأة[٢].

ومن المهم عند استخدام التهوية الميكانيكية اختيار مراوح ذات كفاءة، وذلك للإقلال من مقاومة سريان الهواء لتلك المراوح. وعادة ما تكون المراوح ذات الأقطار الكبيرة أعلى كفاءةً من المراوح ذات الأقطار الصغيرة. فتكون نسبة كفاءة التهوية (Ventilating Efficiency Ratio (VER)) بالنسبة لمراوح مباني الإنتاج الحيواني في حدود ١٠ م٣/ (ث.ك.واط). ولكن قد يوجد تباين واضح حتى بين مراوح بنفس الحجم، حتى مع استخدام محركات كهربائية متساوية في الحجم. وقد كشفت مقارنة تغير في (VER) بين عدة مصانع لإنتاج مراوح ذات أقطار ٠,٩٢ (م) ومجهزة بمحركات كهربائية ذات معدل ٠,٣٧ (ك. واط) بأكثر من ٢٠٠٪ (من ٥ م٣/ (ث.ك. واط) إلى ١١ م٣/ (ث.ك. واط))[٣].

ويوضح الشكل رقم (٣, ١٤) أهمية كفاءة مراوح التهوية الصيفية. فتوجد أكثر من ٢٠٠٠ (ك. واط–ساعة) تُستخدم في الشهر عند التشغيل المستمر لمراوح ذات (VER) مساوي ١٠ م٣/ (ث.ك. واط) في وحدة إنتاج حيواني تسع ٥٠٠ حيوان. وتُقدر التكلفة الشهرية بحوالي (٨٠ دولارًا/ شهر) عند استخدام سعر للكهرباء ٠,٠٤ دولار/ (ك. واط. ساعة). وقد تتضاعف التكلفة عند استخدام مراوح ذات كفاءة أقل أو ذات قيم (VER) تعادل ٥ م٣/ (ث.ك. واط). وقد لا تعمل المراوح باستمرار في فصلي الربيع والخريف، وقد تنخفض التكلفة على حسب نسبة تشغيل المراوح. وقد تقترب سعة التهوية الكلية إلى أقل معدل تهوية مستخدم في شهور الشتاء الباردة. فإذا فُرض أن معامل الاستخدام اليومي المتوسط لعام كامل كان ٠,٦٥، فإن طاقة الاستهلاك الكلية عند استخدام مراوح ذات قيم (VER) تساوي ١٠ تكون حوالي ١٣٣٠ (ك. واط. ساعة)/ شهر أو ١٥٩٦٠ (ك. واط. ساعة)/ سنة. وقد يتضاعف الاستهلاك عند استخدام مراوح ذات كفاءة أقل من قيمة(VER=5). وقد تحتاج قيمة هذا الفرق في الطاقة إلى الأخذ في الاعتبار عند اختيار المراوح. ويمكن تبرير شراء مراوح أكثر تكلفةً إذا كانت تلك المراوح لها نسب كفاءة مرتفعة.



شكل (١٤,٣). الطاقة المستخدمة شهريًا عند تهوية خنازير زنة ١٠٠-٥٠٠ كجم عند أقصى معدل تهوية صيفية شائعة الاستخدام (٠,٠٥٧٨ م٣/ ث).

ويمكن أيضًا تحديد تكاليف الطاقة بالنسبة للمراوح ذات كفاءات متباينة باستخدام الشكل رقم (١٤,٣). ويلاحظ أيضًا إمكانية حساب الوفورات في حالة فتح البيت والتحويل إلى التهوية الطبيعية في فصول الصيف. ولابد أن يتضمن التحويل إلى التهوية الطبيعية تحليلاً متأنيًا للإجهادات التي قد يتعرض لها الحيوان أو النبات الموجود داخل حيز البيت. وقد يتضمن التحليل أيضًا التكلفة المطلوبة بالنسبة للتعديلات الإنشائية، وذلك للسماح بالتحويل من التهوية الميكانيكية إلى التهوية الطبيعية.

ولابد بقدر الإمكان من الحد من استخدام مصادر التدفئة الخارجية عند استعمال نظم التهوية الطبيعية أو الميكانيكية. وقد يتأثر حمل التدفئة بدرجة حرارة السطح الخارجي للمبنى وخاصة الأسقف نتيجة انتقال الحرارة بالتوصيل، وقد يتأثر أيضًا بزيادة الإجهاد الحراري على الحيوانات نتيجة للإشعاع الحراري. وتؤثر مصادر الحرارة الخارجية مباشرةً على متطلبات طاقة نظام التهوية عن طريق زيادة

أقصى معدل تهوية عملي وضروري للحد من ارتفاع درجة الحرارة، أو عن طريق غير مباشر بالتأثير على أداء الحيوان، كما في حالة إهمال الحرارة الإشعاعية.

التحكم في درجة الحرارة (Temperature Control)

يعتبر معدل التهوية للتحكم في درجة الحرارة هو الأسلوب الثاني لإيجاد معدل التهوية. وبالرغم من أنه في بعض الأحيان قد تكون درجة الحرارة الخارجية أقل من درجة حرارة وسط الحيوانات، إلا أن زيادة الحرارة المتولدة من الحيوانات قد تكون بدرجة كافية لتوفير درجة حرارة أعلى من المرغوبة تحت ظروف تهوية دنيا. وقد تكون التهوية المثلى في تلك الحالة هي التي تُحافظ على درجة حرارة مرغوبة في وسط الحيوانات.

ونظرًا لأن الحرارة المتولدة من الحيوانات قد تُستخدم للمحافظة على درجة الحرارة المرغوبة، إلا أن الحرارة المفقودة بالتوصيل من المبنى قد تقلل من معدل التهوية المطلوب. وبما أن الطاقة الكهربائية هي الطاقة المستخدمة في تشغيل المراوح، فإنه من المهم جعل هذا الأسلوب يمتد بقدر الإمكان ليغطي مدى واسعًا من درجات حرارة الهواء الخارجية. والطريقة الأكثر شيوعًا لخفض الحرارة المفقودة من مبنى عن طريق إضافة مادة عازلة على الحوائط الخارجية والسقف.

ودائمًا ما تقلل زيادة مستوي عازل المبنى من فقد الحرارة، ولكن سوف يصبح الخفض المتزايد في الحرارة المفقودة أقل بزيادة مستوى العازل. وقد يتعرض المستوى الاقتصادي الأمثل لعازل مبنى إلى قاعدة العوائد القليلة؛ فسوف ينتج عن كل زيادة مضافة من مادة العازل منفعة اقتصادية منخفضة لهذا العازل. ولكن قد لاتحتاج قيمة العازل إلى تبرير منفردً في هذا الأسلوب؛ نظرًا لأن وفورات الطاقة سوف تتولد أيضًا من إضافة العازل في أساليب التهوية الخاصة بالتحكم في كل من الرطوبة والتلوث.

التحكم في الرطوبة (Humidity Control)

تعتبر تلك الطريقة هي الثالثة لإيجاد معدل التهوية في مباني الإنتاج الحيواني. وتُطبق تلك الطريقة في فترات البرد عندما يكون معدل التهوية المرغوب هو للتخلص

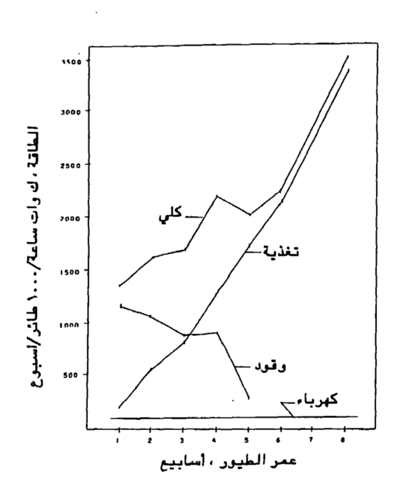
من الرطوبة، مع العلم أن المحافظة على مستوى رطوبة المبنى المرغوب قد تُسبب انخفاضًا في درجة حرارة المبنى إلى مستوى أقل من المرغوب. وقد يتطلب الأمر في تلك الحالات إما استخدام تدفئة خارجية للمحافظة على درجة الحرارة داخل المبنى، أو السماح لدرجة حرارة الوسط بالانخفاض إلى أقل من المستوى المطلوب. ويعتمد استخدام أي من الطريقتين على تكلفة توفير الطاقة الإضافية المطلوبة والمنفعة الاقتصادية المرتبطة مع أي انحدار في كفاءة تغذية الحيوانات أو معدل الإنتاج.

وغالبًا لا تضاف أي طاقة تدفئة إلى المباني ذات الطابع التجاري وذلك للوصول إلى البيئة المثالية. ويُسمح بدلاً من ذلك بالإقلال من كفاءة التغذية أو معدلات النمو؛ نظرًا لأن مستوى الوسط أقل من الأمثل. وينتج عن ذلك تكاليف اقتصادية وطاقة يمكن قياسهما، والتي في الغالب ما يُبخس في تقييمهما بواسطة العامل.

فعلى سبيل المثال، تتضمن عملية تربية الحيوانات في الشمال المتوسط للولايات المتحدة استخدام منشآت بدون تدفئة في شهور الشتاء. ويستخدم في تلك الظروف طاقة تغذية لتعويض الظروف البيئية المحيطة. فتكون كمية الطاقة الغذائية لحيوان زنة ١٠٠ كجم تتم تربيته عند درجة حرارة ٢٠ ْم هي ٤٤٠٠٠ (ك. چول/ يوم)، بينما يحتاج نفس الحيوان إلى ٥١٠٠٠ (ك. چول/ يوم) إذا كانت درجة حرارة الوسط صفر ْم، وذلك بالرغم من أن معدل النمو في كلتا الحالتين متساو تقريبًا. ونجد- للتعبير عن ذلك باستخدام الطاقة الكهربائية- أن الحيوان الذي يتعرض لوسط أبرد يستهلك ١,٩٥ (واط-ساعة/ يوم) أكثر من طاقة الغذاء التي تمثل تقريبًا ٦٠ مرة الطاقة الكهربائية المطلوبة لتشغيل نظام تهوية لنفس الحيوان.

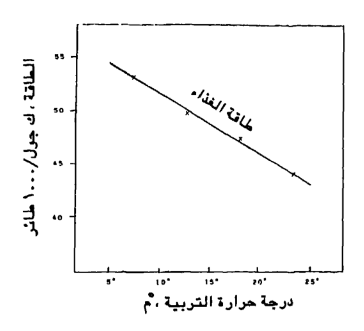
ويوضح الشكل رقم (١٤,٤) القيم النسبية للكهرباء (مروحة + إضاءة) وغاز التدفئة وطاقة الغذاء بالنسبة لدواجن تمت تربيتها في شمال كاليفورنيا في ظروف شتوية[٥]. ويبين الشكل رقم (١٤,٥) تأثير درجات الحرارة على متطلبات الطاقة الغذائية للدواجن[٦]. وينتج عن عدم استخدام التدفئة مع التهوية في الأجواء الباردة زيادة في كمية الغذاء المستهلكة. وتمثل تكاليف التغذية بالنسبة لإنتاج الدواجن من ٦٥ إلى ٧٠٪ من تكاليف الإنتاج.

ويتطلب التحكم في نسبة الأتربة والبكتريا الهوائية المحافظة على رطوبة نسبية في حدود من ٥٠ إلى ٨٠٪ أثناء استخدام طريقة التحكم في الرطوبة. ونظرًا لعدم



شكل (١٤,٤). الطاقة المضافة من الغذاء والوقود والكهرباء أثناء فترة نمو دجاج اللحم في ولاية كارولينا الشمالية.

وجود الجهاز غير المكلف الذي يمكن الاعتماد عليه في حس والتحكم في مستوى الرطوبة آليًا خلال مبنى زراعي معين، فإنه من الضروري بناءً على ذلك قياس مستوى الرطوبة على فترات وضبط معدل التهوية. وغالبًا ما يتم ذلك باستخدام مقاييس حس الرطوبة سواء المعلقة أو التي تعمل بمحرك. وتعتبر عملية القياس الدوري للرطوبة ضروريًا لأن تصميم وإدارة المبنى يمكن أن تُسبب تغيّرات معنوية في التأثير على كمية الحرارة والرطوبة المتولدة في حيِّز التربية، والتي لابد من التخلص منها بواسطة نظام التهوية. وقد وجد (Bundy) ان الحرارة الكامنة والمتولدة داخل غرفة كل حيوان ومن فرشته تتراوح من متوسط ٦٠ واطًا بالنسبة لنظام تهوية أرضية مثقبة نسبيًا إلى متوسط



شكل (١٤,٥). تأثيرات درجة حرارة التربية على طاقة الغذاء المضافة للدجاج اللاحم.

١٠٥ واط بالنسبة للأرضية الصلبة كنظام تربية في الظروف الشتوية (٧). وتتراوح القيم المتطرفة في تلك الدراسة من ٣٠ واطًا إلى ٢٠٠ واط لكل من الحيوان وفرشته.

وغالبًا ما تكون متطلبات الطاقة الحرارية لتكييف هواء خارجي إلى الحالة المرغوبة داخل المبنى أكبر عدة مرات من الطاقة الميكانيكية المطلوبة لتشغيل المروحة الخاصة بالتحكم في الرطوبة. فعلى سبيل المثال: تكون قيمة (VER) الخاصة بمروحة مصممة لتزويد أقل تهوية شتوية لحيوان يزن ١٠٠ كجم هي ١,٢ م^{٣}\(ث-ك. واط) فقط. وقد كان أقل معدل تهوية شتوية في الفصل الثامن لحيوان يزن ١٠٠ كجم حوالي ٠,٠٠٥ (م^{٣}/ ث)، وذلك باستخدام مروحة ذات سعة ١,٢ م^{٣}\(ث-ك. واط). وعلى ذلك نجد أن معدل الكهرباء المطلوبة لتزويد أقل معدل تهوية ٠,٠١ (ك. واط. ساعة)\(حيوان-يوم). وبفرض أن فرق درجة الحرارة بين الداخل والخارج ٢٥ °م، فإن كمية الحرارة المطلوبة للمحافظة على البيئة الحرارية

تكون ٣,٧ (ك. واط. ساعة)\(حيوان-يوم). وقد يُحتاج في تلك الحالة إلى مصدر تدفئة خارجي لتوفير الجزء من الحرارة التي لم يتم الحصول عليها من الحيوانات، أو قد تنخفض درجة حرارة المبنى مسببةً انخفاضًا في إنتاجية الحيوان. ولتوضيح الصورة نجد أن أي تهوية زائدة بمقدار أقل من واحد في المائة قد تؤدي إلى فقد طاقة حرارية تعادل ثلاث مرات الطاقة الميكانيكية المطلوبة لتشغيل نظام التهوية. ونجد تحت أي ظروف أن مقدرة النظام على دفع كمية الهواء المطلوبة فقط مع توزيعه بانتظام خلال الحيز بدون إحداث تيارات تكون أكثر أهميةً من الكفاءة الكهربائية لنظام المراوح. وعادة ما يكون معدل التهوية للتحكم في التهوية الشتوية ونمط التوزيع أكثر أهميةً من الوصول إلى أمثل استخدام لكفاءات كل من مراوح التهوية والمحركات الكهربائية.

وتعتبر عملية الحصول على تحكم في الرطوبة بدون حدوث تهوية زائدة من العمليات المعقدة؛ نظرًا لأن اختصاص التهوية قد لايتوافق مع استخدام أقل معدل تبادل هوائي في مباني الإنتاج الحيواني. وتؤثر نظم معاملة المخلفات وعوامل خارجية أخرى على كمية الرطوبة التي يجب إزالتها، بينما يؤثر مستوى العازل المستخدم على درجة الحرارة التي قد يحدث عندها تكثيف لبخار الماء، وبالتالي التأثير على أقل معدل تهوية للتحكم في الرطوبة.

ويجب إعادة النظر من ناحية التحليل الاقتصادي في تقييم معدل التهوية للتحكم في الرطوبة عند كل درجة حرارة تصميمية. ويمكن خفض أقل معدل تهوية شتوية داخل المنشأة عند زيادة درجة الحرارة الداخلية نتيجة للزيادة في مقدرة الهواء الدافيء على حمل الرطوبة. وتزداد الحرارة الكامنة المتولدة مع معظم أصناف الحيوانات أيضًا مع زيادة درجة الحرارة بحيث لابد وأن يتضمن حساب معدل التهوية للتحكم في الرطوبة هذين العاملين.

وسوف يؤثر استخدام أفران الغاز (غيّر المهواة) في التدفئة على معدل التهوية للتحكم في الرطوبة. وسوف تتسرب الرطوبة- والتي هي أحد نواتج الاحتراق النهائية- إلى الهواء في المنشآت باستخدام دفايات الغاز غير المهواة. وقد تكون كمية الرطوبة المتسربة كافية بحيث يتطلب الأمر زيادة معدل التهوية للتحكم في الرطوبة.

ونظرًا لأنه لابد من توافر حرارة إضافية للمحافظة على درجة الحرارة الداخلية عند استخدام أسلوب التهوية للتحكم في الرطوبة، فإن خفض كمية الحرارة المفقودة من المبنى سوف يقلل من تلك الكمية التزويدية من الطاقة الحرارية الخارجية. وقد يكون العازل اقتصاديًا كما في أسلوب التحكم في درجة الحرارة، وذلك عن طريق خفض الحرارة المفقودة من المبنى. وقد تكون المنفعة الاقتصادية للعازل أكثر وضوحًا مع أسلوب التهوية للتحكم في الرطوبة؛ نظرًا لأنه يقلل مباشرة من تلك الكمية التزويدية من الطاقة الحرارية الخارجية.

التحكم في نسبة التلوث (Pollution Control)

يعتبر التحكم في نسبة التلوث الأسلوب الرابع لحساب معدل التهوية بالنسبة لمباني الإنتاج الحيواني. ولابد في جميع الأحوال من أن يكون معدل التهوية كبيرًا بقدر كاف للمحافظة على نسب الغازات الضارة والتلوث المتولد من نواتج الاحتراق الأخرى عند مستوى يعادل أو أقل من المستوى الآمن. وقد لا نجد تمييزًا واضحًا بين معدلات التهوية المقبولة وغير المقبولة بالنسبة لبعض الملوثات. وعامة يعتبر أقل معدل تهوية للتحكم في الرطوبة أعلى من أقل معدل تهوية للتخلص من التلوث.

وقد يصبح في بعض الأحيان مستوى الروائح الكريهة داخل المبنى العامل المحدد لمعدل التهوية الواجب استخدامه. ويتغير معدل تولد الروائح الكريهة مع طريقة معاملة الروث والمخلفات ونظم التخزين. وفي الغالب ما تصمّم نظم التهوية للمساعدة على التخلص من الروائح الكريهة. ولم يُبرهن مستوى الروائح الكريهة حتى الآن على أنه يؤثر تأثيرًا عكسيًا على إنتاجية الحيوانات.

تطبيقات البيوت المحمية (Greenhouse Application)

تستخدم تطبيقات البيوت المحمية سلسلة من معدلات التهوية المماثلة لطرق إيجاد معدلات التهوية المثلى لمباني الإنتاج الحيواني. ويعتبر معدل التهوية الأمثل في الظروف الحارة هو ذلك المعدل الذي يُزيد المساومة بين أداء النباتات وكل من التكاليف الثابتة والمتغيّرة لنظام التهوية. وتوجد بعض معدلات تهوية عظمى في هذا النظام، والتي تحد من ارتفاع درجة الحرارة في حيّز التربية.

وتوجد طريقة ثانية عملية واقتصادية لتهوية البيوت المحمية، والتي من خلالها يتم المحافظة على درجة حرارة محددة عن طريق التخلص من جزء من الطاقة الشمسية المكتسبة. وتعتبر التهوية عن طريق التحكم في الرطوبة – الطريقة الثالثة – هي الطريقة المثلى عندما تكون الحاجة إلى أقل تهوية للتخلص من رطوبة تنفس النباتات بالإضافة إلى الرطوبة المتبخرة من البيت المحمي. وقد تؤدي تلك الطريقة إلى انخفاض درجة الحرارة عن الدرجة المثلى ويكون الحل عن طريق إضافة حرارة أو استخدام مبادلات حرارية، أو السماح بتعرض النباتات لبعض الإجهادات نتيجة لانخفاض درجة الحرارة عن المثلى.

ويكون الأسلوب الرابع لإيجاد معدل التهوية بالنسبة للبيوت المحمية عن طريق تطبيق أسلوب التهوية للتحكم في نسبة التلوث الخاص بمباني الإنتاج الحيواني والدواجن. وعامة لا يعتبر التلوث في البيوت المحمية مشكلة أمان، ولكن يمكن تعزيز عملية الإنتاج النباتي عن طريق الوصول إلى التراكيز المثالية لكل من ثاني أكسيد الكربون والأكسجين وبعض الغازات الأخرى.

وتوجد أيضًا متوالية من أساليب التهوية المثلى بالنسبة لمنشآت عمليات ومخازن المنتجات الزراعية. وتعتبر نسبة الرطوبة ودرجة الحرارة ومعدلات التجفيف ونسب تراكيز الغازات الملوثة متغيّرات تستخدم في إيجاد معدلات التهوية المثلى بالنسبة لتطبيقات عمليات تشغيل وتخزين محددة.

حدود عمل تجهيزات نظام التهوية: تصميم وإدارة

(EQUIPMENT LIMITATIONS TO VENTILATION SYSTEM DESIGN AND MANAGEMENT)

تتغير كفاءة كل من المراوح والمحركات الكهربائية تغيّراً كبيراً حتى بالنسبة للمراوح التي صُممت لتعمل تحت نفس الظروف الخاصة بمعدلات سريان هواء محددة. ونجد من المراجعة الجزئية للمراوح المتوافرة في الأسواق أن قيمة (VER) تتغيّر بمعامل أكبر من ٣٠ وأقل من ٠,٣ م٣/ (ث-ك. واط) بالنسبة للمراوح ذات الأقطار الصغيرة، وإلى أكبر من ١٠ م٣/ (ث- ك. واط) بالنسبة للمراوح ذات الأقطار

الكبيرة[٣]. وقد تتغيّر قيمة (VER) حتى بالنسبة للمراوح ذات الأقطار المتساوية والمنتجة من مصانع مختلفة بمعامل أكبر من ٣٠.

وتعتبر عملية صيانة المراوح مشكلة في المنشآت الزراعية نتيجة لتراكم الأتربة على كل من الريش والحواجز. ولم تتوافر في الأبحاث إرشادات كافية عن الوفورات الممكن اكتسابها نتيجة لتنظيف الريش. وقد لوحظ أنه إذا كانت تراكيز الأتربة مرتفعة، فإن ريش المروحة قد تتسبب في حمل زائد على المحرك الكهربائي. ويمكن أن ينخفض أداء المروحة ٢٠٪ إذا كانت حواجز المروحة غير نظيفة ولا تعمل بحرية. ويؤدي تركيب الحواجز على المراوح إلى خفض كفاءة تلك المراوح، وعلى ذلك ينصح بعدم تركيب حواجز على المراوح التي تعمل باستمرار.

ويعتبر استخدام معدل سريان هوائي ملائم أثناء ظروف التهوية في أجواء باردة أكثر أهمية من قيم (VER'S) الخاصة بالمراوح. ويكون فرق الضغط النموذجي عبر نظام التهوية في مباني الإنتاج الحيواني تقريبًا في حدود ١ , ٠ (سم ماء). وقد تُسبب سرعة للرياح ٦ (ميل/ ساعة) فرق ضغط أكبر من ٢ , ٠ (سم ماء) عبر الجوانب المقابلة وغير المقابلة للرياح من مبنى إنتاج حيواني، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (١ , ١٤). إذن لابد وأن يُصمم نظام التهوية لتزويد معدل السريان المطلوب في مدى من الضغوط الاستاتيكية للتأكد دائمًا من الحصول على أقل متطلبات التهوية. ويعني ذلك أنه لابد من أن يُزود النظام بأقل معدل سريان هوائي مطلوب في الظروف الجوية العاتية، بينما قد يؤدي ذلك إلى تهوية زائدة في معظم الأوقات الأخرى. ونجد في تلك الحالة أن المروحة التي تدفع كمية ثابتة من الهواء تكون أكثر أهميةً من كفاءة المروحة؛ نظراً لأن التهوية الزائدة بحوالي ٥ , ٠٪ قد تؤدي إلى فقد كل وفورات الطاقة المتحصّل عليها باستخدام مروحة لها قيم (VER) مرتفعة.

أمثل نظام تهوية كلي (Total Ventilation System Optimization)

تتضمن التطبيقات الزراعية المختلفة مزيجًا من أساليب التهوية الأربعة. ويعتبر استخدام المراوح ذات الأقطار الكبيرة والكفاءة المرتفعة والتي تعمل جيداً في الظروف الصيفية غير اقتصادي عند استخدامها للتحكم في الرطوبة، وذلك لعدم وجود تحكم كاف في معدل التهوية. وتسمح الفترات تشغيل– إيقاف بزيادة مشاكل

التلّوث وظهور أنماط سريان غير مرغوبة أثناء فترات الإيقاف[٩]. ويكون استخدام مراوح ذات أقطار صغيرة مع إنجاز لايتأثر نسبيًا بالضغط الاستاتيكي أكثر ملاءمةً بالنسبة لتلك التطبيقات، ولكن عامة لاتكون تلك الأحجام من المراوح كافيةً لتزويد متطلبات التهوية في الصيف. ونتيجة لذلك نجد أن نظم التهوية المثلى قد تتضمن توليفة من أحجام مراوح ونظم تحكم تتمشى مع خصائص المراوح ومتطلبات التهوية عند التشغيل.

وعامة يتم التحكم في مراوح التهوية والتدفئة الخارجية المضافة باستخدام أجهزة تحكم في درجة حرارة المروحة ومصدر التدفئة كل على حدة. وقد تعمل مراوح التهوية المستخدمة في أسلوب التحكم في درجة الحرارة أثناء العمل في أسلوب التحكم في الرطوبة إذا لم يتم ضبط أجهزة الحس الحراري جيداً. وقد يحدث أثناء ذلك أيضًا إضافة حرارة تدفئة، وقد تُفقد تلك الطاقة بدون فائدة. ويجب أن تُصمم وتُضبط أجهزة التحكم بحيث لايزداد معدل التهوية عند إضافة حرارة التدفئة. ويتم ضبط أجهزة حس الحرارة الخاصة بأسلوب التهوية للتحكم في درجة الحرارة من ٢ إلى ٣ °م أعلى من الضبط لمصادر التدفئة باستخدام أجهزة واحدة لحس درجة حرارة. ويرجع الغرض في ذلك إلى منع حدوث التهوية المتزامنة بين كل من التحكم في درجة الحرارة والتدفئة المضافة.

وتعتبر عملية اختيار أجهزة تحكم ذات جودة وتكاليف صيانة منخفضة من المشاكل المهمة التي تواجه المربي. نظريًا، يوجد العديد من المتغيّرات التي يمكن حسها. ومن الناحية العملية يوجد العديد من أجهزة حس البيئة مثل أجهزة حس الرطوبة وتراكيز الغازات التي لها مشاكل جمة بالنسبة للبيئة الزراعية. وتوجد محاولة لربط متغيّرات ثانوية مثل درجة الحرارة إلى المتغيّر الذي يعتمد عليه في التحكم. ويتم عادة التحكم في نظام التهوية بواسطة المتغيّرات الثانوية مع التضحية الاقتصادية.

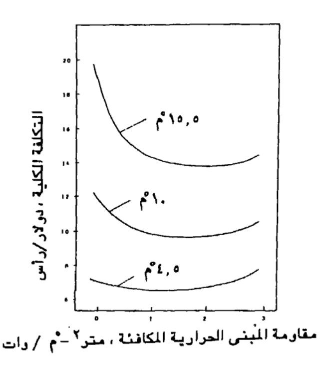
وتعتبر تعقيدات تشغيل نظام التهوية للوصول إلى تهوية مثلى نوعًا آخر من أنواع القصور، هذا بالإضافة إلى كل من مدى الاعتمادية على هذا النظام وتكلفة التحكم. وسوف تؤدي ميزة استخدام كل من الأجهزة ذات التشغيل المستقر ومعالجات البيانات إلى زيادة دقة التحكم في التهوية مما يعود بالفائدة سواء عمليًا أو

اقتصاديًا. ولكن حتى في حالة توافر طرق تحكم أفضل، فإن مهارات العاملين والوقت المحدد غالبًا ما يمنعان من استخدام أفضل كفاءة تشغيل لنظام التهوية.

وتعتبر تعقيدات تشغيل نظام التهوية للحصول على تهوية مثلى بالإضافة إلى مدى الوثوق في تلك الأجهزة نوعًا آخر من أنواع القصور. وقد أصبحت برامج الحاسوب الآلي من الوسائل التي يجب أخذها في الاعتبار عند البحث عن البدائل العديدة في مؤسسات الإنتاج الزراعي ومحاولة اختيار أفضل تلك البدائل. ويمكن أن تحدد برامج الحاسوب الآلي التأثيرات الاقتصادية بالنسبة لاستخدام معدلات تهوية متغيرة. وقد أدى تطور قدرات معالج البيانات والتحسينات التي أدخلت على تصميم أجهزة الحس الحراري للحصول على خطط تحكم في التهوية معقدة كان يصعب عمليًا الوصول إليها من قبل. ويرجع القصور في استخدام تلك البرامج أساسًا إلى عدم اكتمال البيانات الأساسية بالنسبة للاستجابات البيولوجية.

وقد اقترب خبراء البرامج من حل مشكلة الوصول إلى أفضل تصميم لمعدل التهوية عن طريقين. الأول بواسطة برمجة بيئة المنشأة كدالة في الظروف وأجهزة التحكم وكيفية معاملة الحرارة والرطوبة المتولدة داخليًا. والاتجاه الثاني عن طريق برمجة أداء الحيوان أو النبات أو استجابات المحصول للوسط المحيط.

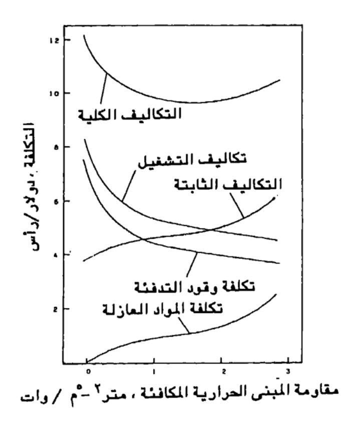
وقد قام (Christian Son and Hellickson) بتطوير برنامج حاسوب آلي على أساس أفضل تحكم في التهوية للتنبؤ بالاستهلاك السنوي للطاقة[١٠]. وقد استخدم ذلك البرنامج أيضًا في تحليل كل من التكاليف الثابتة والكلية المرتبطة مع المنشأة ونظم التحكم البيئية. ويمكن باستخدام ذلك البرنامج تقييم أساليب تشغيل نظام التهوية (مثال: ضبط درجة حرارة الثرموستات بالنسبة لتأثيرات متطلبات الطاقة وتكاليف التشغيل)، وذلك كما في الشكل رقم (٦ ,١٤). ويمكن أيضًا تقييم تصميم المنشأة من حيث مستويات العازل وذلك كما في الشكل رقم (٧ ,١٤)، والقرارات المرتبطة بإدارة المنشأة مثل كثافات التربية، الشكل رقم (٨ ,١٤). ويمكن استخدام ذلك البرنامج لتحليل الأفضلية بين تكاليف الاستثمارات الأولية للعازل ووفورات طاقة التشغيل خلال فواقد حرارية مخفضة. ويرجع القصور الأساسي في هذا البرنامج إلى أنه لا يمكن التنبؤ بمدى استجابة الحيوان للوسط المحيط. ونتيجة لذلك، فإنه لا يمكن المقارنة مباشرةً بين الطاقة الحرارية والكهربائية المستخدمة وبين طاقة التغذية مع النتائج المتحصل عليها من هذا البرنامج.



شكل (١٤,٦). التكلفة الكلية لكل رأس كدالة في كل من مستوى العازل وأقل درجة حرارة للوسط لعدد ٢٠٠ رأس ذات كثافة تربية ١,٦٧ م٢/ رأس بالنسبة لنظم حظائر خاصة بأبقار اللحم في ولاية داكوتا الجنوبية.

وقد تم تطوير العديد من برامج الحاسوب الآلي لتمثيل بيئة الحيوان أو النبات. وقد تضمنت بعض تلك البرامج تحليلات تفصيلية أكثر عن انتقال الحرارة في مراحل الحالات غير المستقرة. ولم تتضمن معظم تلك البرامج وسائل لإيجاد أسلوب تهوية ملائم وبالتالي التكامل بين تلك العوامل المتداخلة على مدار السنة. ونتيجة لذلك، فإنه يوجد نوع من القصور لتلك البرامج في عمليات التطبيق بغرض الوصول إلى تصميم وتشغيل أمثل للتهوية.

وقد طوّر عدد من الباحثين عدة برامج للتنبؤ بمدى استجابة كل من الحيوان والنبات بالنسبة للوسط. ولم تتضمن تلك البرامج مقدرة برامج البيئة على العمل خلال فترة سنة للتنبؤ بالتفاعلات بين كل من التهوية والطاقة والتغذية والإنتاج.

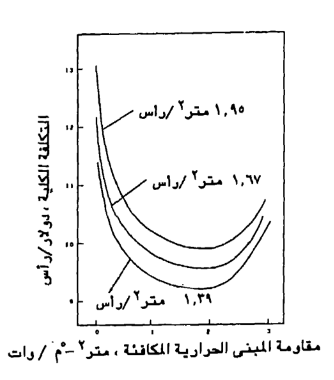


شكل (١٤,٧). التكاليف الثابتة والمتغيّرة والكلية السنوية كدالة في مستوى العازل لعدد ٢٠٠ رأس ذات كثافة تربية ١,٦٧ م٢/رأس عند درجة حرارة صغرى ١٠ °م بالنسبة لنظم حظائرأبقار اللحم في ولاية داكوتا الجنوبية.

وسائل توفير الطاقة ومصادر الطاقة البديلة

(Energy Saving Devices and Alternate Energy Sources)

يجب إنجاز التحليلات الاقتصادية ووسائل توفير الطاقة بعد إيجاد معدل التهوية الأمثل وتحديد مستوى العازل المستخدم. وقد ينتج عن الاختيار غير الموفق لكل من معدلات التهوية ومستوى العازل المستخدم في المنشأة تقييم اقتصادي غير دقيق لسبل توفير الطاقة. ويرجع السبب في ذلك إلى أن معدلات التهوية لها دور رئيسي بالنسبة لاقتصاديات نظم التهوية. ويمكن التحكم في ذلك للوصول إلى الوفورات الاقتصادية الجوهرية بعيداً عن وسائل توفير الطاقة.



شكل (١٤,٨). التكلفة الكلية لكل رأس كدالة في مستوى العازل وكثافة تربية الماشية لعدد ٢٠٠ رأس ذات كثافة تربية ١,٦٧ م٢/رأس عند درجة حرارة صغرى ١٠ °م بالنسبة لنظم حظائر بولاية داكوتا الجنوبية.

وتعمل عدة وسائل لتوفير الطاقة عن طريق تبادل درجة حرارة هواء الدخول إلى المنشأة (أمثلة: نظم شمسية ومبادلات حرارية وأنابيب مدفونة تحت الأرض وغيره)[١٥]. ولابد عند التقييم الاقتصادي لتلك الأنواع من البدائل من الفصل بين الطاقة المفقودة من هيكل المبنى والطاقة المفقودة مع هواء التهوية. وقد تتأثر الطاقة المفقودة من هيكل المبنى بالسبل المستخدمة في توفير الطاقة وخاصة إذا كانت تلك الوسيلة (مثال. مجمع شمسي) جزءاً من هيكل المبنى.

وتعتبر عملية تقييم كفاءة سبل توفير الطاقة والتي تعتمد على خفض أو موازنة الطاقة المفقودة خلال التهوية من العمليات الصعبة. وترتبط معظم البيانات المتاحة

بنظم تهوية محددة ووسائل توفير طاقة قد تم اختبارها في فترة زمنية قصيرة. وتم أخذ متوسطات تلك النتائج بالنسبة للزمن لتقدير الخفض السنوي في استخدامات الطاقة الأخرى. ويمكن للتسهيل فصل التحليل إلى عنصرين :

١- القيمة الاقتصادية لمستوى معين من خفض طاقة الوقود.

٢- التكلفة الاقتصادية للحصول على مستوى معين من خفض طاقة الوقود.

وتنحصر الصعوبة في ضرورة إيجاد وسيلة لتحديد مستويات خفض طاقة الوقود بالنسبة لنظام تهوية. ولاتصف الطرق العامة التي تستخدم تخفيضات النسب بدقة كافية الأداء أو التأثير الاقتصادي لوسائل توفير تلك الطاقة.

ولابد عند استخدام أي وقود من تجميعه، ثم معاملته، ثم تخزينه، ثم وضعه في المحرقة، ثم التخلص من نواتج الاحتراق. وتتم عملية التجميع والمعاملة والتخزين والتخلص من نواتج الاحتراق بالنسبة لأنواع الوقود الحالية - مثل الغاز الطبيعي والسائل والزيوت- باستخدام ترتيبات إدارية مبسطة. ولكن قد يعني استخدام وقود مثل الخشب أو الفحم أو بقايا محاصيل وجوب رفع مستوى الإدارة المطلوب. ويجب أن يتم تشغيل وإيقاف نظام التدفئة خلال اليوم مع التغيّرات اليومية التي تحدث لدرجة الحرارة. وقد يؤدي ذلك إلى تعقيد إدارة معظم بدائل نظم الطاقة.

وقد تبدو الطاقة الشمسية مصدراً مهمًا للطاقة بالنسبة للمنشآت الزراعية، ولكن قد تحد الناحية الاقتصادية من تطبيقات ذلك المصدر. وقد تتيح بعض التعديلات على المنشآت وجود طريقة لتجميع الطاقة الشمسية. وقد تم تطوير نظم شمسية تستخدم حائطًا جانبيًا من المكعبات الخرسانية في المنشأة لتوفير كل من نظام تجميعي شمسي وخزان حراري[١٦]. وقد تتضمن نظم شمسية أخرى تجميع وتخزين الطاقة في وحدة قائمة بذاتها تعمل على توزيع الحرارة على مدار اليوم[١٧]. ويُتيح استخدام نظام شمسي بدون وجود وسيلة لتخزين الطاقة تولد طاقة حرارية أكبر من المطلوب وخاصةً في نهار الأيام الصافية مع عدم توافر الطاقة في الليل.

وتُصمّم المبادلات الحرارية لتحريك الحرارة من هواء العادم إلى الهواء الداخل. وقد تعتبر المبادلات قادرة على استخلاص من ٣٠ إلى ٧٠٪ من الحرارة المفقودة مع هواء العادم. ويعتبر استخدام مساحة كبيرة من الألواح المطلوبة لتبادل الحرارة بين الهواء الداخل والخارج إحدى المشاكل الكبرى المرتبطة باستخدام

المبادلات الحرارية. والمشكلة الأخرى في استخدام المبادلات الحرارية هي عملية تراكم الأتربة والرطوبة على الأسطح، مما قد يؤدي إلى خفض كفاءة استخلاص الحرارة وعدم الراحة نتيجة لعمليات التنظيف المستمرة المطلوبة.

ويكون البديل الآخر استخدام أنابيب مدفونة تحت الأرض إما لتدفئة أولتبريد الهواء الداخل إلى المنشآت الزراعية. ولابد من دفن الأنابيب عند عمق حيث التغيّرات في درجة حرارة التربة محدودة، وذلك للاستفادة القصوى من ميزة تغيرات درجة حرارة الأرض السنوية. وتعتبر الخصائص التصميمية التي يعتمد عليها هذا النظام حاليًا محدودة وتمنع من إجراء تقييم فعلي للجدوى الاقتصادية.

اقتصاديات (Economics)

تعتبر عملية الوصول لنظام تهوية مثالي في الزراعة من الناحية الاقتصادية أكثر تعقيدًا من الوصول بكمية الطاقة الكلية المستهلكة لكل وحدة إنتاج إلى الحد الأدنى. ومع ذلك يعتبر من المهم الوصول إلى النظام الأمثل اقتصاديًا؛ نظرًا لأن ذلك يعتبر المعيار المستخدم بواسطة المنتجين عند تقييم نظام تهوية زراعي.

ويشرح (Hellickson) في الخطوات التالية طريقة تحليل تكلفة العمر الافتراضي التي يمكن تطبيقها على المنشآت الزراعية[١٤]:

١– جزء مدفوع مقدمًا، وهو عبارة عن الجزء من تكاليف الاستثمار الثابتة والتي تُسدد مباشرة.

٢– جزء في صورة استثمار الائتمان الضريبي، وهو عبارة عن اعتماد ضريبة الدخل المتاحة والمستخدمة بواسطة عامل المزرعة.

٣– جزء في صورة قيمة المنشأة بعد الاستهلاك، وهي عبارة عن قيمة المنشأة عند نهاية عمرها الافتراضي.

٤– معدل التضخم العام، وهو عبارة عن معدل التضخم السائد.

٥– قيمة التأمين، وهو عبارة عن قيمة قسط التأمين، ويعبر عنه كنسبة من التكلفة الثابتة للمنشأة.

٦– معدل الفائدة على المبلغ المُقترض، وهو عبارة عن معدل الفائدة المدفوع على المبلغ المُقترض لشراء أو إنشاء المنشأة.

٧- العمر الاستهلاكي، وهو عبارة عن عمر المنشأة بالنسبة لأغراض استهلاك ضريبة الدخل.

٨- فترة الاقتراض، وهي عبارة عن فترة سداد القرض.

٩- الفترة التي بُني عليها التحليل الاقتصادي، وعادة يعبر عنها إما بعمر المنشأة أو ٢٠ سنة، أيهما أقل. وقد لا تكون تلك الفترة بالضرورة فترة الاقتراض أو عمر الاستهلاك.

١٠- معدل الضريبة العقارية، وهو عبارة عن ضريبة العقار أو الملك الفعلية التي يمكن فرضها على المنشأة كنسبة من القيمة الابتدائية.

١١- معدل تضخم أسعار الطاقة، وهو عبارة عن معدل تضخم نوع أو أنواع الطاقة المستخدمة في المنشأة.

١٢- معدل تضخم تكاليف الصيانة.

١٣- تضخم تكاليف التشغيل.

١٤- معدل ضريبة الدخل المتزايد، وهو عبارة عن ضريبة الدخل المتزايدة والتي يخضع لها مالك المنشأة.

١٥- معدل التنزيلات أو التخفيضات، وهو عبارة عن معدل الفقد النقدي بالنسبة للمالك فيما لو تم استثمار المبلغ المدفوع في تكاليف الاستثمار الثابتة في أفضل البدائل.

وتعادل وفورات العمر الافتراضي بالنسبة لكفاءة استخدام طاقة أجهزة التهوية كلاً من تكاليف العمر الافتراضي للأجهزة المقارنة أو التجارية مطروح منها تكاليف العمر الافتراضي الخاصة بتصميم كفاءة استخدام الطاقة. ويمكن حساب عوامل ذات قيمة حالية بالنسبة لنظم بديلة من المتغيّرات التي تم وصفها آنفًا، والتي يمكن تطبيقها على التكاليف الثابتة والمتغيّرة بالنسبة لكل نظام. وتسمح عملية دمج هذه الطريقة من التحليل الاقتصادي مع النموذج بيئة- طاقة التي تم وصفه في هذه الفقرة بعملية تقييم شامل بالنسبة لتصميم وإدارة التهوية.

المراجع

1 Dayton Electric Mfg. Co. 1982. Fan characteristics data for blower model 3C153. Dayton Electric Mfg. Co., 5959 W. Howard St., Chicago, IL 60648.

2 Baughman, G. R. and C. R. Parkhurst. 1971. Energy consumption in broiler production. TRANSACTIONS of the ASAE 20(2):341-344.

3 Doyle, M. 1980. Personal communication regarding the measured fan efficiencies for several commercially available fans. Aerovent, 929 Terminal Road, Lansing, MI 48906.

4 ASAE Data D 270.4. 1981. Design of ventilation systems for poultry and livestock shelters. AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK, ASAE pp. 373-391.

5 Esmay, M. L. 1977. Principles of Animal Environment, 2nd ed., Ch. 16 "Energy Conservation Principles". AVI Publishing Co., Westport, CT.

6 Reece, F. N. and J. W. Deaton. 1976. Effects of temperature on growth of the domestic chicken. Progress in animal biometeorology, Volume 1, pp. 337-342, Swets and Zeitlinger, Armsterdam.

7 Bundy, D. 1978. Designing ventilation systems in farrowing buildings for energy conservation. ASAE Paper MN-78-301, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

8 Person, H., Jacobson, L. and K. Jordan. 1977. Effect of duct, louvers and other attachments on fan performance. ASAE Paper 77-4569, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

9 Lubinus, L. and N. Teter. 1975. Ventilation problems in swine housing. ASAE Paper 75-4570, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

10 Christianson, L. L. and M. A. Hellickson. 1977. Simulation and optimization of energy requirements for livestock housing. TRANSACTIONS of the ASAE 20(2):327-335.

11 Teter, N. and J. DeShazer. 1976. Animal performances models. ASAE Paper No. 76-5013, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

12 Christianson, L. L., G. L. Hahn and N. Meador. 1980. Swine performance model for summer conditions. ASAE Paper No. 80-4019, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

13 Paine, M. 1971. Mathematical modeling of energy metabolism in beef animals. Unpub. PhD Thesis, Oklahoma State University, Stillwater, OK.

14 Hellickson, M. A. 1979. Cost/performance goals for agricultural solar collectors. ASAE Paper No. 79-4054, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

15 Fehr, R. L. and R. Hunke. 1982. Energy conservation for swine facilities. Pork Industry Handbook Series, National Pork Producers Council, 1776 N.W. 114th Street, Des Moines, IA.

16 Robbins, F. V. and Spillman, C. K. 1980. Heat and moisture production of sows and litters in a fully-slotted floor farrowing house. ASAE Paper No. 80-4508, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

17 Hellickson, M. A. 1982. A multiple use solar system for heating livestock buildings. Proceedings of the 2nd International Livestock Environment Symposium, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

الملاحق
(APPENDICES)

ملحق (أ)
(APPENDIX A)

جدول يبين درجات الحرارة التصميمية والارتفاعات الزاويّة لشمس الظهيرة بالنسبة لمواضع مختارة في الولايات المتحدة.

الموضع	درجة الحرارة، ° م — شتاء درجة جافة ٩٩٪	شتاء درجة جافة ٩٧,٥٪	صيف درجة جافة ٩٧,٥٪	صيف درجة رطبة ٩٧,٥٪	ارتفاع زاوية شمس الظهيرة — متوسط يناير	يونيو ٢١	مارس ٢١ سبتمبر ٢١
آلاباما							
برمنجهام	-٨,٣	٦,١-	٣٤,٤	٢٥,٠	٦,٨	٨٠	٥٦,٥
هانت سفيل	-١١,٧	٨,٩-	٣٣,٩	٢٥,٠	٤,٩	٧٨,٨	٥٥,٣
موبيل	-٣,٩	١,٧-	٣٣,٩	٢٦,١	١٠,٧	٨٢,٨	٥٩,٣
مونتجمري	-٥,٦	٣,٩-	٣٥,٠	٢٦,١	٨,٦	٨١,١	٥٧,٧
آلاسكا							
انكورج	-٣٠,٦	٢٧,٨-	٢٠,٠-	١٥,٠	١١,٢-	٥٢,٣	٢٨,٨
فيربانكس	-٤٦,١	٤٣,٩-	٢٥,٦	١٦,٧	٢٤,٤-	٤٨,٦	٢٥,٢
جونيو	-٢٠,٠	١٧,٢-	٢١,١	١٥,٠	٤,٧-	٥٥,١	٣١,٧
نام	-٣٥,٠	٣٢,٨-	١٦,٧	١٣,٣	١٤,٤-	٤٩,٠	٢٥,٥
أريزونا							
فلاجستاف	-١٨,٩	١٥,٦-	٢٧,٨	١٥,٦	٢,٣-	٧٨,٣	٥٤,٨
فينيكس	-٠,٦	١,١	٤١,٧	٢٣,٩	١٠,٧	٨٠	٥٦,٥
تاكسون	-٢,٢	صفر	٣٨,٩	٢١,٧	١٠,٥	٨١,٣	٥٧,٨
آركنساس							
فورت سميث	-١١,١	٨,٣-	٣٦,٧	٢٦,١	٣,٩	٧٨,١	٥٤,٧
ليتلروك	-٩,٤	٦,٧-	٣٥,٦	٢٦,١	٤,٢	٧٨,٨	٥٥,٣
كاليفورنيا							
بيكرسفيلد	-١,١	صفر	٣٨,٣	٢١,٧	٨,٦-	٧٨,١	٥٤,٧
يوريكا	-٠,٦	٠,٦	١٨,٣	٢١,١	٨,٥	٧٢,٥	٤٩
فريسنو	-٢,٢	١,١-	٣٧,٨	٢١,٧	٧,٤	٧٦,٦	٥٣,٢

تابع ملحق (١)

الموضع	درجة الحرارة، °م شتاء درجة جافة ٪٩٩	٪٩٧,٥	صيف درجة جافة ٪٩٧,٥	درجة رطبة ٪٩٧,٥	ارتفاع زاوية شمس الظهيرة متوسط يناير	يونيو ٢١	مارس ٢١ سبتمبر ٢١
لوس انجيلوس	٥,٠	٦,١	٢٦,٧	٢٠,٦	١٢,٥	٧٩,٥	٥٦,٠
أوكلاند	١,١	٢,٢	٢٦,٧	١٧,٨	٩,٢	٧٥,٨	٥٢,٣
سكرامينتو	-١,١	صفر	٣٦,٧	٢١,٧	٧,٣	٧٥,٠	٥١,٥
سان دييجو	٥,٦	٦,٧	٢٦,٧	٢١,١	١٢,٩	٨٠,٨	٥٧,٣
سان فرانسيسكو	١,٧	٣,٣	٢٥,٠	١٧,٨	٩,١	٧٥,٨	٥٢,٣
سانتا ماريا	-٠,٦	٠,٦	٢٤,٤	١٧,٨	١٠,٣	٧٨,٦	٥٥,٢
ستوكتون	-٢,٢	-١,١	٢٦,١	٢١,١	٧,٠	٧٥,٦	٥٥,٢
كولورادو							
آلاموسا	-٢٩,٤	-٢٦,٧	٢٧,٨	١٦,١	-٨,٢	٧٦,٠	٥٢,٥
دينفر	-٢٠,٦	-١٧,٢	٣٢,٨	١٧,٢	-١,٢	٧٣,٦	٥٠,٢
جراند جانكشن	-١٦,٧	-١٣,٩	٣٤,٤	١٧,٢	-٣,٠	٧٤,٣	٥٠,٨
بيبلو	-٢١,٧	-١٧,٨	٣٥,٠	١٨,٩	-١,١	٧٥,١	٥١,٧
كناكتيكات							
بريدج بورت	-١٤,٤	-١٢,٨	٢٨,٩	٢٣,٣	-١,٠	٣٢,٣	٤٨,٨
هارت فورد	-١٦,١	-١٣,٩	٣١,١	٢٣,٩	-٤,٠	٧١,٦	٤٨,٢
ديلاويرا							
ويل منجتون	-١٢,٢	-١٠,٠	٣١,٧	٢٤,٤	صفر	٧٣,٨	٥٠,٣
حي كولومبيا							
واشنطن	-١٠,٠	-٨,٣	٣٢,٨	٢٥,٠	٢,٠	٧٤,٦	٥١,٢
فلوريدا							
شاطيء ديتونا	صفر	١,٧	٣٢,٢	٢٦,١	١٤,٧	٨٤,٣	٦٠,٨
فورت ميارس	٥,٠	٦,٧	٣٣,٣	٢٦,١	١٧,٥	٨٦,٨	٦٣,٣
چاكسون ڤيل	-١,٧	صفر	٣٤,٤	٢٦,١	١٢,٦	٨٣,٠	٦٠,٠
كي ويست	١٢,٨	١٣,٩	٣٢,٢	٢٦,١	٢١,٥	٨٩,٠	٦٥,٥
ليك لاند	٣,٩	٥,٠	٣٢,٨	٢٥,٦	١٦,٠	٨٥,٥	٦٢,٠
ميامي	٦,٧	٨,٣	٣٢,٢	٢٦,١	١٩,٦	٨٧,٦	٦٤,٢
أورلاندو	١,٧	٣,٣	٣٣,٩	٢٥,٦	١٥,٧	٨٥,٠	٦١,٥
بنساكولا	-٣,٩	-١,٧	٣٣,٩	٢٦,١	١١,٢	٨٣,٠	٥٩,٥
طالاهاسي	-٢,٨	-١,١	٣٣,٣	٢٥,٦	٨٣,١	٨٣,١	٥٩,٧
طامبا	٢,٢	-٤,٤	٣٢,٨	٢٦,١	٨٥,٥	٨٥,٥	٦٢,٠

تابع ملحق (١) .

الموضع	درجة الحرارة، ° م: شتاء درجة جافة ٪٩٩	شتاء درجة جافة ٪٩٧,٥	صيف درجة جافة ٪٩٧,٥	صيف درجة رطبة ٪٩٧,٥	ارتفاع زاوية شمس الظهيرة: متوسط يناير	يونيو ٢١	مارس ٢١ سبتمبر ٢١
چورچيا							
أطلانتا	-٨,٣	-٥,٦	٣٣,٣	٢٤,٤	٥,٨	٧٩,٨	٥٦,٣
أوجوستا	-٦,٧	-٥,٠	٣٥,٠	٢٦,١	٧,٧	٨٠,١	٥٦,٧
كولومبوس	-٦,١	-٤,٤	٣٣,٩	٢٥,٦	٨,٣	٨١,٠	٧٥,٥
ماكون	-٦,١	-٣,٩	٣٣,٩	٢٥,٦	٨,٨	٨٠,٨	٥٧,٣
ساڤانا	-٤,٤	-٢,٨	٣٣,٩	٢٦,١	٩,٩	٨١,٣	٥٧,٨
هاوائي							
هيلو	١٦,١	١٦,٧	٢٨,٣	٢٣,٣	٢١,٨	٩٣,٨	٧٠,٣
هونولولو	١٦,٧	١٧,٢	٣٠,٠	٢٣,٩	٢٢,٤	٩٢,١	٦٨,٧
أيداهو							
بويز	-١٦,١	-١٢,٢	٣٤,٤	١٨,٩	-١,٧	٧٠,٠	٤٦,٥
لويستون	-١٨,٣	-١٤,٤	٣٣,٩	١٨,٩	-٠,٤	٦٧,١	٤٣,٧
بوكاتيلو	-٢٢,٢	-١٨,٣	٣٢,٨	١٧,٢	-٤,٩	٧٠,٥	٤٧,٠
ألينويس							
شيكاغو	-٢٢,٢	-٢٠,٠	٣١,٧	٢٤,٤	-٥,١	٧١,٥	٤٨,٠
مولينو	-٢٢,٨	-٢٠,٠	٣٢,٨	٢٥,٠	-٥,٨	٧٢,٠	٤٨,٥
بيوريا	-٢٢,٢	-٢٠,٠	٣١,٧	٢٤,٤	-٤,٦	٧٢,٨	٤٩,٣
سبرينج فيلد	-١٩,٤	-١٦,٧	٣٣,٣	٢٥,٠	-٢,٩	٧٣,٦	٥٠,٢
انديانا							
إيڤانسفيل	-١٥,٦	-١٢,٨	٣٣,٩	٢٥,٦	٠,٣	٧٥,٥	٥٢,٠
فورت واين	-٢٠,٠	-١٧,٢	٣١,٧	٢٣,٩	-٣,٧	٧٢,٥	٤٩,٠
إنديانا بوليس	-١٨,٩	-١٦,٧	٣٢,٢	٢٤,٤	-٢,٣	٧٣,٨	٥٠,٣
ثاوث بند	-١٩,٤	-١٧,٢	٢٣,٩	٢٣,٩	-٤,٤	٧١,٨	٤٨,٣
أيوا							
بيرلنجتون	-٢١,٧	-١٩,٤	٣٢,٨	٢٥,٠	-٥,١	٧٢,٦	٤٩,٢
ديس موينيس	-٢٣,٣	-٢٠,٦	٣٢,٨	٢٥,٠	-٧,٠	٧٢,٠	٤٨,٥
داباك	-٢٤,٤	-٢١,٧	٣١,١	٢٣,٩	-٧,٩	٧١,١	٤٧,٧

تابع ملحق (١) .

الموضع	درجة الحرارة، °م — شتاء درجة جافة ٩٩٪	شتاء درجة جافة ٩٧,٥٪	صيف درجة جافة ٩٧,٥٪	صيف درجة رطبة ٩٧,٥٪	ارتفاع زاوية شمس الظهيرة — متوسط يناير	يونيو ٢١	مارس ٢١ سبتمبر ٢١
سيوكس سيتي	-٢٣,٩	-٢١,٧	٣٣,٣	٢٥,٠	-٧,٨	٧١,١	٤٧,٧
ووترلو	-٢٦,١	-٢٣,٣	٣١,٧	٢٥,٠	-٨,٧	٧١,٠	٤٧,٥
كانساس							
دودج سيتي	-١٧,٨	-١٥,٠	٣٦,١	٢٨,٨	-٠,٧	٧٥,٦	٥٢,٢
جودلاند	-٢٠,٦	-١٧,٨	٣٥,٦	٢١,١	-٢,٤	٧٤,١	٥٠,٧
توبيكا	-١٧,٨	-١٥,٦	٣٥,٦	٢٥,٦	-٢,٢	٧٤,٥	٥١,٠
ويشيتا	-١٦,١	-١٣,٩	٣٦,٧	٢٤,٤	-٠,٤	٧٥,٨	٥٢,٣
كنتاكي							
كوڤينجتون	-١٧,٢	-١٤,٤	٣٢,٢	٢٣,٩	-٠,٥	٧٤,٥	٥١,٠
ليكسنجتون	-١٦,١	-١٣,٣	٣٢,٨	٢٤,٤	٠,٥	٧٥,٥	٥٢,٠
لويس ڤيل	-١٥,٠	-١٢,٢	٣٣,٩	٢٥,٠	٠,٧	٧٥,٣	٥١,٨
لويزيانا							
باتون روج	-٣,٩	-١,٧	٣٣,٩	٢٦,٧	١٠,٦	٨٣,٠	٥٩,٥
ليك شارلس	-٢,٨	-٠,٦	٣٣,٩	٢٦,١	١١,٣	٨٣,٣	٥٩,٨
نيو أورلنس	-١,٧	٠,٦	٣٣,٣	٢٦,٧	١١,٦	٨٣,٥	٦٠,٠
شريڤبورت	-٦,٧	-٣,٩	٣٥,٦	٢٦,١	٨,٤	٨١,٠	٧٥,٥
مين							
كاريبو	-٢٧,٨	-٢٥,٠	٢٧,٢	٢٠,٦	-١١,٨	٦٦,٦	٤٣,٢
بورتلاند	-٢١,١	-١٨,٣	٢٨,٩	٢٢,٢	-٥,٨	٦٩,٨	٤٦,٣
ميريلاند							
بالتيمور	-١٢,٢	-١٠,٦	٣٢,٨	٢٥,٠	٠,٨	٧٤,٣	٥٠,٨
ماسيتيوسس							
بوسطن	-١٤,٤	-١٢,٨	٣١,١	٢٣,٣	-١,٦	٧١,١	٤٧,٧
ويركيستر	-١٧,٨	-١٥,٦	٢٨,٩	٢٢,٢	-٤,٧	٧١,١	٤٧,٧
ميشيجان							
ديترويت	-١٦,١	-١٤,٤	٣١,١	٢٣,٣	-٣,٦	٧١,١	٤٧,٧
جراند رابيدس	-١٧,٢	-١٥,٠	٣١,١	٢٣,٣	-٤,٩	٧٠,٦	٤٧,٢
لانسين	-١٩,٤	-١٧,٢	٣٠,٦	٢٣,٣	-٥,٢	٧٠,٦	٤٧,٢
ماركيتي	-٢٤,٤	-٢٢,٢	٢٧,٢	٢١,١	-٧,٦	٦٧,٠	٤٣,٥

تابع ملحق (١)

الموضع	درجة الحرارة، ° م				ارتفاع زاوية شمس الظهيرة		
	شتاء درجة جافة		صيف درجة جافة	درجة رطبة	متوسط يناير	يونيو ٢١	مارس سبتمبر ٢١
	٪٩٩	٪٩٧,٥	٪٩٧,٥	٪٩٧,٥			
سولت ستي . ماريا	-٢٤,٤	-٢٢,٢	٢٧,٢	٢١,١	-٩,٩	٦٧,٠	٤٣,٥
ميني سوتا							
دولوث	٢٩,٤-	٢٦,٧-	٢٧,٨	٢١,١	١٣,١-	٦٦,٦	٤٣,٢
إنترناشيونال فولس	٣٣,٩-	٣١,٧-	٢٨,٣	٢١,١	١٦,٧-	٦٥,٠	٤١,٥
مينوبوليس ست بول	٢٦,٧-	٢٤,٤-	٣١,٧	٢٣,٩	١١,٠-	٦٨,٦	٤٥,٢
روشستر	٢٧,٢-	٢٤,٤-	٣٠,٦	٢٣,٩	١٠,٦-	٦٩,٥	٤٦,٠
سنت كلاود	٢٦,١-	٢٣,٩-	٣١,١	٢٣,٣	١٢,٨-	٦٧,٨	٤٤,٣
ميسيسبي							
جاكسون	٦,١-	٣,٩-	٣٥,٠	٢٥,٦	٨,٤	٨١,١	٥٧,٧
ميريديان	٧,٢-	٥,٠-	٣٥,٠	٢٦,١	٨,٣	٨١,١	٥٧,٧
ميزوري							
كولومبيا	١٨,٣-	١٥,٦-	٣٤,٤	٢٥,٠	١,٥-	٧٤,٥	٥١,٠
كانسيس سيتي	١٦,٧-	١٤,٤-	٣٥,٦	٢٥,٠	٢,٧-	٧٤,٣	٥٠,٨
سانت لويس	١٦,٧-	١٤,٤-	٣٤,٤	٢٥,٠	٠,٤-	٧٤,٦	٥٠,٨
سبرنج فيلد	١٦,١-	١٢,٨-	٣٣,٩	٢٥,٠	٠,٥	٧٦,٣	٥٢,٨
مونتانا							
بيلينجس	٢٦,١-	٢٣,٣-	٣٢,٨	١٨,٩	٥,٦-	٦٧,٦	٤٤,٢
جلاسجو	٣٠,٠-	٢٧,٨-	٣١,٧	١٨,٩	١٢,٧-	٦٥,٣	٤١,٨
جريت فولس	٢٩,٤-	٢٦,١-	٣١,١	١٦,٧	٦,٤-	٦٦,٠	٤٢,٥
كاليسبيل	٢٥,٦-	٢١,٧-	٣٠,٦	١٧,٢	٧,٢-	٦٥,١	٤١,٧
ميليسيتي	٢٨,٩-	٢٦,١-	٣٥,٠	٢٠,٠	٩,٢-	٦٧,٠	٤٣,٥
ميسولا	٢٥,٠-	٢١,١-	٣١,١	١٧,٢	٦,٢-	٦٦,٦	٤٣,٢
نبراسكا							
جراند أيلاند	٢٢,٢-	١٩,٤-	٣٤,٤	٢٣,٣	٥,٤-	٧٢,٥	٤٩,٠
لينكولن	٢٠,٦-	١٨,٩-	٣٥,٠	٢٥,٠	٥,٤-	٧٢,٦	٤٩,٢
نورفولك	٢٢,٢-	٢٠,٠-	٣٣,٩	٢٥,٠	٧,٣-	٧١,٥	٤٨,٠
نورث بليت	٢٢,٢-	٢٠,٠-	٣٤,٤	٢٢,٢	٤,٨-	٧٢,٣	٤٨,٨
أوماها	٢٢,٢-	١٩,٤-	٣٢,٨	٢٥,٠	٥,٢-	٧٢,١	٤٨,٧
سكوت بلوف	٢٢,٢-	١٩,٤-	٣٣,٣	٢٠,٠	٣,٩-	٧١,٦	٤٨,٢

تابع ملحق (١)

الموضع	درجة الحرارة، ° م				ارتفاع زاوية شمس الظهيرة		
	شتاء درجة جافة		صيف درجة جافة	درجة رطبة	متوسط يناير	يونيو ٢١	مارس ٢١ سبتمبر ٢١
	٩٩٪	٩٧,٥٪	٩٧,٥٪	٩٧,٥٪			
نيفادا							
ألكو	-٢٢,٢	-١٨,٩	٣٣,٣	١٦,٧	-٤,٩	٧٢,٦	٤٩,٢
ألي	-٢٣,٣	-٢٠,٠	٣٠,٦	١٥,٠	-٤,٧	٧٤,٣	٥٠,٨
لاس ڤيجاس	-٣,٩	-٢,٢	٤١,١	٢١,١	٦,٨	٧٧,٣	٥٣,٨
رينو	-١٥,٠	-١٢,٢	٣٣,٣	١٦,٧	-٠,١	٧٤,٠	٥٠,٥
نيوهامبشير							
كونكورد	-٢٢,٢	-١٩,٤	٣٠,٦	٢٢,٨	-٦,٣	٧٠,٣	٤٦,٨
نيوچيرسي							
مدينة أطلانتا	-١٢,٢	-١٠,٦	٣١,٧	٢٥,٠	٠,٤	-٧٤,٠	٥٠,٥
نيوارك	-١٢,٢	-١٠,٠	٣٢,٨	٢٤,٤	-٠,٣	٧٢,٨	٤٩,٣
نيوميكسيكو							
ألبوكيرك	-١١,١	-٨,٩	٣٤,٤	١٨,٣	١,٨	٧٨,٥	٥٥,٠
روسويل	-١٠,٦	-٧,٨	٣٦,٧	٢١,١	٣,٤	٨٠,١	٥٦,٧
نيويورك							
ألباني	-٢١,١	-١٨,٣	٣١,١	٢٣,٣	-٥,٨	٧٠,٦	٤٧,٢
بينجامتون	-١٨,٩	-١٧,٢	٢٨,٣	٢٢,٢	-٥,٦	٧١,٣	٤٧,٨
بافالو	-١٦,٧	-١٤,٤	٢٩,٤	٢٢,٨	-٤,٦	٧٠,٥	٤٧,٠
نيويورك	-١١,١	-٩,٤	٣٠,٦	٢٣,٩	-٠,٣	٧٢,٨	٤٩,٣
روشستر	-١٧,٤	-١٥,٠	٣١,١	٢٢,٨	-٤,٤	٧٠,٣	٤٦,٨
سيراكوس	-١٩,٤	-١٦,٧	٣٠,٦	٢٢,٨	-٤,٧	٧٠,٣	٤٦,٨
كارولينا الشمالية							
أشفيل	-١٢,٢	-١٠,٠	٣٠,٦	٢٣,٣	٣,٣	٧٨,٠	٤٥,٥
كارلوت	-٧,٨	-٥,٦	٣٣,٩	٢٤,٤	٥,٦	٧٨,٥	٥٥,٠
جرين سبورو	-١٠,٠	-٧,٨	٣٢,٨	٢٤,٤	٣,٧	٧٧,٣	٥٣,٨
راليف	-٨,٩	-٦,٧	٣٣,٣	٢٥,٠	٤,٧	٧٧,٦	٥٤,٢
ويلمينجتون	-٥,٠	-٣,٣	٣٢,٨	٢٦,٧	٨,٠	٧٩,١	٥٥,٧
داكوتا الشمالية							
بيسمارك	-٣٠,٦	-٢٨,٣	٣٢,٨	٢١,٧	-١٣,٢	٦٦,٠	٤٣,٢
فارجو	-٣٠,٠	-٢٧,٨	٣١,٧	٢٣,٣	-١٤,٥	٦٦,٦	٤٢,٨
ويلستون	-٣١,٧	-٢٩,٤	٣١,١	٢١,١	-١٣,٢	٦٥,٣	٤٩,٠

تابع جدول (١)

الموضع	درجة الحرارة، °م				ارتفاع زاوية شمس الظهيرة		
	شتاء درجة جافة		صيف درجة جافة	درجة رطبة	متوسط يناير	يونيو ٢١	مارس ٢١ سبتمبر ٢١
	٪٩٩	٪٩٧,٥	٪٩٧,٥	٪٩٧,٥			
أوهايو							
آكرون	-١٧,٢	-١٤,٤	٣٠,٠	٢٨,٨	-٣,٢	٧٢,٥	٤٩,٠
سينكيتاتي	-١٧,٢	-١٤,٤	٣٢,٢	٢٣,٩	٠,١	٧٤,٣	٥٠,٨
كليفيلاند	-١٧,٢	-١٥,٠	٣١,١	٢٣,٣	-٢,٨	٧٢,١	٤٨,٧
كولومبوس	-١٧,٨	-١٥,٠	٣٢,٢	٢٣,٩	-٢,٠	٧٣,٥	٥٠,٠
دايتون	-١٨,٣	-١٥,٦	٣١,٧	٢٣,٩	-٢,٢	٧٣,٦	٥٠,٢
مانسفيلد	-١٧,٨	-١٥,٠	٣٠,٦	٢٣,٣	-٢,٢	٧٢,٦	٤٩,٢
توليدو	-١٩,٤	-١٧,٢	٣١,١	٢٣,٩	-٤,٠	٧١,٨	٤٨,٣
يونجستون	-١٨,٣	-١٥,٦	٣٠,٠	٢٢,٨	-٣,٥	٧٢,١	٤٨,٧
أوكلاهوما							
مدينة أوكلاهوما	-١٢,٨	-١٠,٦	٣٦,١	٢٥,٠	٢,٧	٧٨,١	٥٤,٧
تولسا	-١٣,٣	-١٠,٦	٣٦,٧	٢٥,٦	٢,٦	٧٧,٣	٥٣,٨
أوريجون							
أستوريا	-٣,٩	-١,٧	٢١,٧	١٧,٢	٤,٨	٦٧,٣	٤٣,٨
أيجين	-٨,٣	-٥,٦	٣١,٧	١٩,٤	٤,١	٦٩,٣	٤٥,٨
مدفورد	-٧,٢	-٥,٠	٣٤,٤	٢٠,٠	٢,٦	٧١,١	٤٧,٧
بيندليتون	-١٨,٩	-١٥,٠	٣٣,٩	١٨,٣	صفر	٦٧,٨	٤٤,٣
بورتلاند	-٨,٣	-٥,٠	٢٩,٤	١٩,٤	٣,٤	٦٧,٨	٤٤,٣
سالم	-٧,٨	-٥,٠	٣١,١	٢٠,٠	٣,٨	٦٨,٥	٤٥,٠
بنسيلفانيا							
آلين تاون	-١٥,٦	-١٢,٨	٣١,١	٢٣,٩	-٢,٣	٧٢,٨	٤٩,٣
أريا	-١٥,٦	-١٢,٨	٢٩,٤	٢٣,٣	-٣,٨	٧١,٣	٤٧,٨
هاريسبرج	-١٣,٩	-١١,٧	٣٢,٨	٢٤,٤	-١,١	٧٣,٣	٤٩,٨
فيلاديلفيا	-١٢,٢	-١٠,٠	٣٢,٢	٢٤,٤	٠,٢	٧٣,٦	٥٠,٢
بتسبرج	-١٧,٢	-١٥,٠	٣٠,٠	٢٢,٨	-٢,٢	٧٣,٠	٤٩,٥
ويليام سبورت	-١٦,٧	-١٣,٩	٣١,٧	٢٣,٣	-٢,٧	٧٢,٣	٤٨,٨
رود آيلاند							
بروفيدانس	-١٥,٠	-١٢,٨	٣٠,٠	٢٣,٣	-٢,٠	٧٢,٣	٤٨,٨
كارولينا الجنوبية							
كارلستون	-٤,٤	-٢,٨	٣٢,٨	٢٦,٧	٩,٢	٨٠,٦	٥٧,٢
كولومبيا	-٦,٧	-٤,٤	٣٥,٠	٢٥,٦	٧,٤	٧٩,٥	٥٦,٠

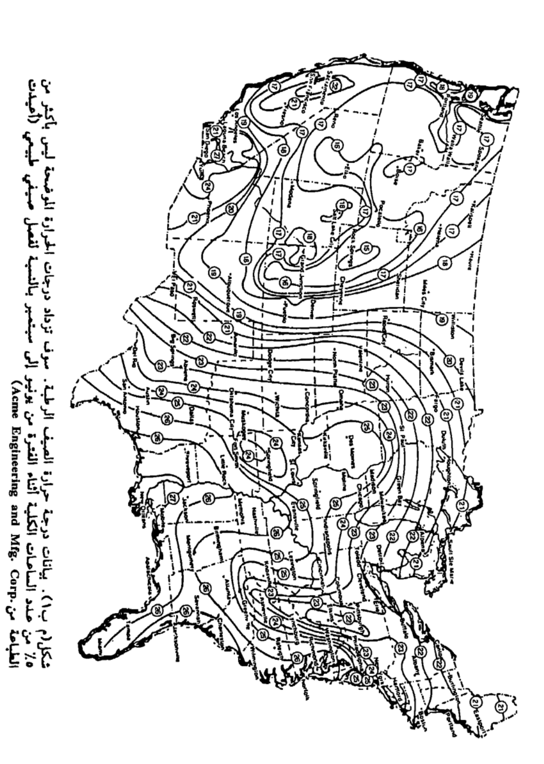
تابع جدول (١)

الموضع	درجة الحرارة، ° م				ارتفاع زاوية شمس الظهيرة		
	شتاء درجة جافة		صيف درجة جافة	درجة رطبة	متوسط يناير	يونيو ٢١	مارس ٢١ سبتمبر ٢١
	٪٩٩	٪٩٧,٥	٪٩٧,٥	٪٩٧,٥			
جرين ڤيل	-٧,٨	-٥,٦	٣٢,٨	٢٤,٤	٥,٧	٧٨,٦	٥٥,٢
داكوتا الجنوبية							
أبيردين	-٢٨,٣	-٢٦,١	٣٢,٨	٢٣,٩	-١٢,٥	٦٨,٠	٤٤,٥
رابيد سيتي	-٢٣,٩	-٢١,٧	٣٣,٣	٢٠,٦	-٥,٦	٦٩,٥	٤٦,٠
شلالات سيوكس	-٢٦,١	-٢٣,٩	٣٢,٨	٢٣,٩	-٩,٩	٦٩,٨	٤٦,٣
تينيسي							
بريستول	-١٢,٨	-١٠,٠	٣١,٧	٢٣,٩	٢,٤	٧٧,٠	٣٥,٥
شاتانوجا	-١٠,٦	-٧,٨	٣٣,٩	٢٥,٠	٤,٦	٧٨,٥	٥٥,٠
نوكسڤيل	-١٠,٦	-٧,٢	٣٣,٣	٢٤,٤	٤,٨	٧٧,٦	٥٤,٢
ميمفيس	-١٠,٦	-٧,٨	٣٥,٠	٢٦,١	٤,٧	٧٨,٥	٥٥,٠
ناشفيل	-١٢,٨	-١٠,٠	٣٤,٤	٢٥,٠	٣,٥	٧٧,٣	٥٣,٨
تيكساس							
إبيلين	-٩,٤	-٦,٧	٣٧,٢	٢٣,٣	٦,٥	٨١,٠	٥٧,٥
أماريلو	-١٤,٤	-١١,٧	٣٥,٠	٢١,١	٢,٢	٧٨,٣	٥٤,٨
براون سڤيل	١,٧	-٢,٢	٣٣,٩	٢٦,١	١٥,٧	٨٧,٦	٦٤,٢
دالاس	-٧,٨	١,٧	٣٧,٨	٢٥,٦	٧,١	٨٠,٦	٥٧,٢
ألباسو	-٦,٧	-٥,٦	٣٦,٧	٢٥,٠	١٠,٤	٨٤,١	٦٠,٧
هيوستن	-٢,٨	-٠,٦	٣٤,٤	٢٦,١	١١,٢	٨٣,٨	٦٠,٣
ميدلاند	-٨,٩	صفر	٣٦,٧	٢٢,٢	٦,٤	٨١,٥	٥٨,٠
سان أنجلو	-٧,٨	-٩,٤	٣٧,٢	٢٣,٣	٨,٠	٨٢,١	٥٨,٧
سان أنتونيو	-٣,٩	-١,١	٣٦,١	٢٤,٤	١٠,٤	٨٤,٠	٦٠,٥
شلالات ويشيتا	-١٠,٠	-٧,٨	٣٨,٣	٢٤,٤	٥,٣	٧٩,٥	٥٦,٠
يوتا							
مدينة البحيرة المالحة	-١٦,١	-١٣,٣	٣٥,٠	١٨,٣	-٢,٢	٧٢,٦	٤٩,٢
ڤيرمونت							
بيرلنجتون	-٢٤,٤	-٢١,٧	٢٩,٤	٢٢,٢	-٨,٤	٦٩,٠	٤٥,٥
ڤيرچينيا							
نورفولك	-٦,٧	-٥,٦	٣٢,٨	٢٥,٦	٤,٧	٧٦,٦	٥٣,٢
ريتشموند	-١٠,٠	-٨,٣	٣٣,٣	٢٥,٦	٣,١	٧٦,٠	٥٢,٥

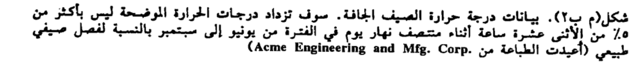
تابع جدول (١) .

الموضع	درجة الحرارة، ° م: شتاء درجة جافة ٩٩٪	شتاء درجة جافة ٩٧,٥٪	صيف درجة جافة ٩٧,٥٪	صيف درجة رطبة ٩٧,٥٪	ارتفاع زاوية شمس الظهيرة: متوسط يناير	يونيو ٢١	مارس سبتمبر ٢١
رونوك	-١١,١	-٨,٩	٣٢,٨	١٨,٣	٢,٤	٧٦,١	٥٢,٧
واشنطن							
أولمبيا	-٨,٩	-٥,٦	٢٨,٣	٢٢,٢	٢,٩	٦٦,٥	٤٣,٠
سيتل	-٦,١	-٣,٣	٢٦,٧	٢٥,٦	٣,٤	٦٦٦,٠	٤٢,٥
سبوكن	-٢١,١	-١٦,٧	٣٢,٢	٢٥,٦	-٣,٧	٦٥,٨	٤٢,٣
ياكيما	-١٨,٩	-١٥,٠	٣٣,٩	٢٣,٣	-٢,٥	٦٧,٠	٣,٥
ويست ڤيرچينيا							
كارلستون	-١٣,٩	-١١,٧	٣٢,٢	٢٣,٩	١,٤	٧٥,١	٥١,٧
ألكينس	-١٧,٢	-١٤,٤	٢٨,٩	٢٢,٢	-١,١	٧٤,٦	٥١,٢
باركر سبيرج	-١٣,٩	-١١,٧	٣٢,٢	٢٤,٤	٠,٥	٧٤,١	٥٠,٧
ويسكونسن							
جرين باي	-٢٥,٠	-٢٢,٨	٢٩,٤	٢٣,٣	-٩,٢	٦٩,٠	٤٥,٥
لاكروس	-٢٥,٠	-٢٢,٨	٣١,١	٢٣,٩	-٨,٨	٦٩,٦	٤٦,٢
ماديسون	-٢٣,٩	-٢١,٧	٣١,١	٢٣,٩	-٨,٤	٧٠,٣	٤٦,٨
ميل واكي	٢٢,٢	-٢٠,٠	٣٠,٦	٢٣,٣	-٧,٠	٧٠,٥	٤٧,٠
يومينج							
كاسبر	-٢٣,٩	-٢٠,٦	٣٢,٢	١٦,١	-٤,٩	٧٠,٦	٤٧,٢
شييني	-٢٢,٨	-١٨,٣	٣٠,٠	١٦,٧	-٣,٠	٧٢,٣	٤٨,٨
شريدان	-٢٥,٦	-٢٢,٢	٣٢,٨	١٨,٣	-٦,١	٦٨,٦	٤٥,٢

ملحق (ب)



شكل(م ب١). بيانات درجة حرارة الصيف الرطبة. سوف تزداد درجات الحرارة الموضحة ليس بأكثر من ٥٪ من عدد الساعات الكلية أثناء الفترة من يونيو إلى سبتمبر بالنسبة لفصل صيفي طبيعي (أعيدت الطباعة من Acme Engineering and Mfg. Corp.)



شكل(م ب٢). بيانات درجة حرارة الصيف الجافة. سوف تزداد درجات الحرارة الموضحة ليس بأكثر من ٥٪ من الأثنى عشرة ساعة أثناء منتصف نهار يوم في الفترة من يونيو إلى سبتمبر بالنسبة لفصل صيفي طبيعي (أعيدت الطباعة من .Acme Engineering and Mfg. Corp)

ملحق (جـ)

قائمة الرموز المستخدمة في مجال تهوية المنشآت الزراعية ودلالتها

الرمز	الدلالة
A	مساحة أو ثابت
A_a	مساحة مدخل
A_e	مساحة سطحية لحيز
A_f	مساحة أرضية
A_g	مساحة أرضية مبللة
A_s	مساحة سطحية
AD	انحدار مطلق في إنتاج اللبن
AU	معامل فقد حراري
b	عرض حاجز
B	ثابت
B_i	عرض مدخل
B_s	عرض فتحة سقف
C	معامل فقد ديناميكي

الرمز	الدلالة
C_b	الحرارة النوعية لكتلة الجسم
C_d	معامل تصرف
C_p	الحرارة النوعية للهواء
C_w	الحرارة النوعية لبخار الماء ، تحت ضغط ثابت
d_i	رطوبة مطلقة داخلية
d_o	رطوبة مطلقة خارجية
D	قطر
D_a	قطر خصائصي لحيوان
E	كفاءة فتحة
EDL	الحرارة المفقودة من خلال جلد
EHL	الحرارة المفقودة بالبخر
ESL	الحرارة المفقودة بالعرق
f	معامل احتكاك، بدون وحدات
F	نسبة أشغال النبات لأرضية البيت المحمي
g	عجلة الجاذبية
G_r	رقم جريشوف
h	معامل انتقال الحرارة بالحمل
h_a	المحتوى الحراري للهواء الجاف

الرمز	الدلالة
h_f	الفاقد نتيجة الاحتكاك
h_g	المحتوى الحراري لبخار الماء
h_i	المحتوى الحراري للهواء الداخلي
h_o	المحتوى الحراري للهواء الخارجي
h_{tp}	المحتوى الحراري عند نقطة الانقلاب
h_w	المحتوى الحراري لرطوبة الهواء
h_x	معامل الحمل المدفوع
H	فرق ارتفاع
I	كثافة أشعة الشمس
J	معدل الشغل الميكانيكي
k	معامل التوصيل الحراري
k_a	معامل التوصيل الحراري للهواء
K	ثابت التحويل إلى الدرجة المطلقة
K_d	معامل الانتشار
K_x	معامل التوصيل لسطح تلامس
l	طول
L	نسبة الفقد في الوزن الكلي في الأسبوع
m	الكتلة

الرمز	الدلالة
m_a	كتلة الهواء الجاف
m_w	كتلة بخار الماء
M	معدل سريان الكتلة
M_m	القوة الدافعة ، ومعامل النفاذية
M_{mx}	القوة الدافعة لنافورة هواء
MHP	تولّد طاقة الأيْض
MP	تولّد الرطوبة لوحدة الحيوان
N	رقم
NL	المستوى الطبيعي من إنتاج اللبن
N_u	رقم ناسلت
P	الضغط
P_a	ضغط الهواء الجاف
P_{at}	ضغط الهواء الجوي
P_g	ضغط البخار المشبع عند درجة حرارة الجو
P_i	الضغط الداخلي
P_o	الضغط الخارجي
P_r	رقم براندل
P_s	ضغط البخار المشبع

الرمز	الدلالة
P_T	ضغط كلي
P_v	ضاغط السرعة
P_w	ضغط بخار الماء
P_{ws}	ضغط بخار مشبع
q	حرارة كامنة ومحسوسة
q_b	حرارة مفقودة خلال حوائط مبني
q_{cd}	انتقال حرارة بالتوصيل
q_{cv}	انتقال حرارة بالحمل
q_e	الحرارة المتولدة من على أسطح الأجهزة
q_{ed}	معدل الحرارة المفقودة بانتشار البخار خلال الجلد
q_{eh}	معدل الفقد الحراري ببخار الماء
q_f	حرارة الأفران
q_g	الحرارة المفقودة من أو إلى الأرض
q_i	حرارة متسربة
q_I	الطاقة الشمسية النافذة
q_l	تولّد حرارة كامنة
q_{lv}	حرارة كامنة مضافة لهواء التهوية
q_p	حرارة بناء ضوئي

الرمز	الدلالة
q_r	حرارة تنفس
q_{rt}	انتقال حرارة بالإشعاع
q_s	حرارة محسوسة
q_{sup}	حرارة مضافة
q_{sv}	حرارة محسوسة تستخدم لتدفئة هواء تهوية
q_t	إشعاع حراري إلى السماء
q_v	حرارة مفقودة بالتهوية
q_{ve}	البخر بالنتح
q_{vi}	حرارة محسوسة لهواء التهوية الداخلي
q_{ve}	حرارة محسوسة لهواء التهوية الخارجي
Q	معدل سريان
Q_q	معدل سريان هواء عند فتحة دخول
Q_{ex}	معدل التهوية لهواء التنفس
Q_p	معدل التهوية لكل حيوان
Q_s	معدل التهوية للحرارة المحسوسة
Q_T	فقد حراري كلي
Q_{vl}	معدل سريان هواء لوحدة الطول
Q_x	معدل سريان هواء عند مسافة X
r	نصف قطر

الرمز	الدلالة
$r_{0.5}$	المسافة من منتصف خط إلى النقطة حيث $V=V_x/2$
R	الثابت العام للغازات
R_a	الثابت العام بالنسبة للهواء
R_e	رقم رينولد
R_w	الثابت العام لبخار الماء
Ref.	مرجـــــــع
REL	معدل فقد حراري كامن بالتنفس
RH	رطوبة نسبية
RSL	معدل فقد حراري محسوس بالتنفس
s	معدل العرق لوحدة المساحات من سطح الجلد
S	نسبة البراعم بالوزن
SHL	فقد حراري محسوس
t	زمـــــــن
T	درجة حرارة مطلقة
T_a	درجة حرارة الجو
T_b	درجة حرارة الجسم
T_{db}	درجة حرارة جافة
T_e	درجة حرارة حيّز مغلق
T_{ex}	درجة حرارة هواء التنفس

الرمز	الدلالة
T_i	درجة حرارة داخلية
T_m	أقل درجة حرارة
T_o	درجة حرارة خارجية
T_r	درجة حرارة غرفة
T_s	درجة حرارة سطح
T_x	درجة حرارة عند نقطة x
T_{wb}	درجة حرارة رطبة
T_{ref}	درجة حرارة مرجع
THI	مؤشر حرارة -رطوبة
THL	فقد حراري كلي
T	درجة حرارة مطلقة
T_a	درجة حرارة مطلقة للهواء
T_e	درجة حرارة مطلقة لسطح حيز
T_i	درجة حرارة مطلقة داخلية
T_o	درجة حرارة مطلقة خارجية
T_s	درجة حرارة مطلقة لسطح حيوان
T_w	درجة حرارة بخار الماء المطلقة
U	معامل انتقال الحرارة الكلي بالتوصيل
V	حجم

الرمز	الدلالة
v	حجم وحدة الأوزان
V_a	حجم هواء جاف
V_s	حجم نوعي للهواء
V_w	حجم بخار ماء
V	سرعة
V_i	سرعة داخلية
V_o	سرعة خارجية
V_x	سرعة متبقية
V_w	سرعة رياح
VPD	فرق ضغط بخار الماء
w	محتوى رطوبي
W	قدرة أو وزن حيوان
W_a	نسبة رطوبة هواء شهيق/ هواء جوي
W_{ex}	نسبة رطوبة هواء زفير
W_i	نسبة رطوبة داخلية
W_o	نسبة رطوبة خارجية
W_p	ماء مضاف بواسطة النتح
W_T	الفقد في الوزن/ لوحدة البطاطس
W_{ve}	تبادل رطوبة الهواء بالتهوية

الرمز	الدلالة
W_{wv}	معدل إنتاج بخار الماء
X	سمك أو مسافة من فتحة دخول
α	ثابت توزيع السرعة
β	زاوية ارتفاع الشمس، ومعامل التمدد الحراري
γ	لزوجة الهواء
Δ	فرق
Δp	فرق ضغط
Δt	فرق درجة حرارة
ε	معامل الإصدار
ε_a	معامل الإصدار الجوي الظاهري
ε_a	معامل الإصدار لسطح حيّز
ε_i	متوسط الإصدار للأسطح الداخلية
ε_s	معامل الإصدار من سطح الحيوان
θ	معامل الخفض، أو زاوية
λ	حرارة كامنة لبخار الماء
λ_s	حرارة كامنة لتبخير الماء عند درجة حرارة الجلد
μ	لزوجة ديناميكية للهواء
ρ	كثافة هواء
σ	ثابت استافان – بولتزمان

الرمز	الدلالة
τ	النفاذية
τ_t	النفاذية للإشعاع الحراري
$\varnothing$	رطوبة نسبية
$\varnothing_i$	رطوبة نسبية داخلية
$\varnothing_o$	رطوبة نسبية خارجية
ω	سرعة دورانية

ملحق (د)

تحويل الوحدات من النظام الإنجليزي إلى المتري

الكمية	التطبيق	من : الوحدات القديمة	إلى : النظام العالمي	اضرب في :
العجلة الزاوية	عام	لفة/ ث٢	ز/ ث٢	
العجلة الخطية	مَرْكبة	(ميل / ساعة . ث)	(كم/ ساعة . ث)	١,٦٠٩*
	عامة (متضمنة عجلة الجاذبية)	قدم / ث٢	م/ ث٢	٠,٣٠٤*
الزاوية، مستوية	حسابات الدوران	لفة نصف القطر	ز نصف القطر	
	هندسية وعامة	(درجة)	٥	
		"(دقيقة)	عشرية	١/ ٦٠*
		"(ثانية)	عشرية	١/ ٣٦٠٠*
المساحة	أرصفة نقل	بوصة ٢	م٢	,٠٠٠٧
	بضائع،	قدم٢	م٢	,٠٩٣
	مساحة أسطح	بوصة٢	مم٢	٦٤٥,١٦*
	وأرضيات عامة	بوصة٢	سم٢	٦,٤٥*
	مساحة كبيرة	فدان	هكتار	,٤٠٥
	مساحة كبيرة للغاية	ميل٢	كم٢	٢,٥٩
مساحة لوحدة الزمن	عمليات حقلية عامة	فدان / ساعة	هكتار / ساعة	,٤٠٥

* وحدات فى صورتها المفضلة للتعبير عن كميات طبيعية

تابع ملحق (د) .

الكمية	التطبيق	من : الوحدات القديمة	إلى : النظام العالمي	اضرب في :
السعة الحرارية		و.ح.أ/فْ	ك.چول/ْك	١,٨٨٩
السعة الحرارية ، النوعية		و.ج.أ/رطل. فْ	چول/كجم.ْك	٤,١٨٩*
معامل انتقال الحرارة		و.ج.أ/(ساعة. قدم٢.ْف)	واط/م٢.ْك	٥,٦٧٨
التوصيل الحراري		و.ج.أ. قدم/(ساعة. قدم٢.ْف)	واط/م.ْك	١,٧٣١
استهلاك الوقود	مركبات	جالون/ساعة	لتر/ساعة	٣,٧٨٥
الكثافة (كتلة)	صلبة، عامة: منتجات	رطل/يارد٣	كجم/م٣	,٥٩٣
	زراعية، تربة، مواد بناء	رطل/بوصة٣	كجم/م٣	٢٧٦٧٩,٩
كثافة	سائل	رطل/ قدم٣	كجم/م٣	١٦,٠١٩
	غاز	رطل/ جالون	كجم/لتر	,١١٩٨
		رطل/ قدم٣	كجم/م٣	١٦,٠١٨
معدل سريان الحرارة	عامة، إشعاع	و.ج.أ/(ساعة. قدم٢)	واط/م٢	٣,١٥٥
كفاءة الوقود	اقتصاديات مركبات الطرق السريعة	ميل/جالون	كم/لتر	,٤١٥

تابع ملحق (د) .

الكمية	التطبيق	من : الوحدات القديمة	إلى : النظام العالمي	اضرب في :
طاقة ،	حرارة	رطل/ (حصان . ساعة)	جم/ ميجا چول	١٦٨,٩٧
شغل ، إنثالبي	استخدامات	قدم - رطل	چول	١,٣٥٦
كمية حرارة	الطاقة ، كهربائي	و . ج . أ	ك . چول	١,٠٥٥
		ك . كالوري	ك . چول	٤,١٨٧*
		ك . واط . ساعة	ميجا . چول	٣,٦
	ميكانيكية ،	رطل . قدم	چول	١,٣٥٦
	هيدروليك ،	حصان . ساعة	ميجا چول	٢,٦٨٥
	عامة	حصان . ساعة	ك واط . ساعة	,٧٤٦
الطاقة لوحدة المساحة	طاقة شمسية عامة	و . ج . أ / قدم٢	ميجا چول/ م٢	,٠١١
طاقة ، نوعية	غاز ، سائل	كالوري/ جم	چول/ جم	٤,١٨٧*
سريان ، كتلة ،	هواء ، غاز ، عامة	و . ج . أ / رطل	ك چول/ جم	٢,٣٢٦*
معدل	سريان مائع ،	رطل/ دقيقة	كجم/ دقيقة	,٤٥٤
سريان ، حجم	عامة	قدم٣/ ث	م٣/ ث	,٠٢٨
		جالون/ ث	لتر/ ث	٣,٧٨٥
			م٣/ ث	,٠٠٤
قوة ، دفع ،	بدال ، سير ،	رطل قوة	نيوتن	٤,٤٤٨
سحب	عامة	كجم قوة	نيوتن	٩,٨٠٧

تابع ملحق (د) .

الكمية	التطبيق	من : الوحدات القديمة	إلى : النظام العالمي	اضرب في :
		داين	نيوتن	*,٠٠٠٠١
حرارة نوعية	عامة	كالوري/ جم	ك. چول / كجم	*٤,١٨٧
الطول	مسافة أرضية، خريطة	ميل	كم	*١,٦٠٩
		يارد	م	,٩١٤
		قدم	م	,*٣٠٥
		بوصة	سم	*٢,٥٤
كتلة	كتلة مركبة، حملة عجلة	رطل	كجم	٠,٤٥٣
		سلاج	كجم	١٤,٩٥٣
	حمل، سعة، كمية محصول ، كتلة وعاء	أونز	جم	٢٨,٣٤٩
كتلة لوحدة المساحة	كتلة جسم عامة أغطية سطحية	أونز/ ياردة٢	جم/ م٢	٣٣,٩٠٦
		رطل/ قدم٢	كجم / م٢	٤,٨٨٢
		رطل/ فدان	كجم/ هتكار	١,١٢١
		رطل/ قدم٢	كجم/ م٢	١,٤٨٨
كتلة لوحدة المسافة	أعضاءإنشائية، عامة	رطل/ يارد	كجم/ م	,٤٩٦
عزم قوة . عزم إنحناء	عامة، عزم محرك	رطل قوة. بوصة	نيوتن. م	,١١٣
	عزم عمود	كجم قوة . سم	نيوتن. م	,٠٩٨

تابع ملحق (د) .

الكمية	التطبيق	من : الوحدات القديمة	إلى : النظام العالمي	اضرب في :
قدرة	عامة ، مصابيح إضاءة ،	و.ج.أ/ ساعة	واط	,٢٩٣
	هواء تكييف ، تسخين	قدرة بالحصان (٥٥٠ رطل. قدم / ث)	ك.واط	,٧٤٦
قدرة لوحدة المساحة	أشعة شمسية	و.ج.أ/ (قدم٢ .ساعة)	واط/ م٢	٣,١٥٥
الضغط	كل الضغوط باستثناء الصغيرة	رطل/ بوصة٢	ك. بسكال	٦,٨٩٥
		بوصة زئبق(٦٠ °ف)	ك. بسكال	٣,٣٧٧
		بوصة ماء (٦٠ °ف)	ك. بسكال	,٢٤٩
		م زئبق (صفر °م)	ك. بسكال	,١٣٣
		كجم/ سم٣	ك. بسكال	٩٨,١
		بار	ك. بسكال	١٠٠*
إجهاد	عامة	ضغط جوي طبيعي	ك. بسكال	١٠١,٣٣*
	استخدام عام	رطل قوة / بوصة٢	ميجا. بسكال	,٠٠٧

تابع ملحق (د) .

الكمية	التطبيق	من : الوحدات القديمة	إلى : النظام العالمي	اضرب في :
درجة الحرارة		°ف	°م	(ف- ٣٢) / ١,٨
الانتشارية الحرارية	انتقال الحرارة	قدم٢/ ساعة	م٢ / ساعة	,٠٩٣
حجم	جسم مركب،	يارد٣	م٣	,٧٦٥
	أرض،	قدم٣	م٣	,٠٢٨
	غاز، مبنى،	بوشل	لتر	٣٥,٢٤
	عامة	قدم٣	لتر	٢٨,٣١٧
		فدان . قدم	م٣	١,٢٣٤
		بوشل (أمريكي)	م٣	,٠٣٥
حجم لوحدة المساحة	ري، خزان صوامع غلال	جالون/ فدان	لتر/ هكتار	٩,٣٥٤
حجم لوحدة الزمن	تطبيقات على معدلات، مبيدات استهلاك وقود	جالون/ ساعة	لتر/ ساعة	٣,٧٨٥

ثبت المصطلحات العلمية

أولاً: عربي - إنجليزي



أبواب أو ألواح	Doors or panels
أبواب لفافة	rooling doors
ألواح مفصلية	hinged panels
حائط جانبي	sidewall
حوائط على هيئة شتائر	curtain walls
ستارة بلاستيكية	plastic curtain
لوح حائطي منزلق رأسي	vertical sliding wall panel
محور مركزي	center pivot
الميل	tilting
الأتربة	Dust
إجهاد مائي	Water stress
أجهزة تحكم	Controls
أجهزة تحكم في درجة الحرارة	thermostats
إحساس	sensing
آلي	automatic
انكماش	contraction
صيانة	maintenance

التلوث	pollution
درجة الحرارة	temperature
رطوبة	humidity
سرعة متغيّرة	variable speed
سريان حجمي	volumetric flow
مروحة	fan
معالج البيانات	microprocessor
معامل	coefficient
منطق	logic
أجهزة تحكم في درجة الحرارة	Thermostats
ازدواج معدني	bi-metalic
امتلاء بخاري	vapor filled
تأخر	lag
امتلاء سائلي	liquid filled
الدقة	accuracy
فرقي	differential
فرقي تحويلي	switching differential
مدى	range
مفاتيح	switches
موضع الإحساس	sensing location
أجهزة تحكم في الرطوبة	Humidistats
مقياس رطوبة كهربي	electric hygrometer
أجهزة توقيت، داخلية	Timers, internal
أجهزة حس	Sensing devices
أجهزة حس درجة الحرارة	Sensing thermostats
أجهزة غسل الغاز السائلية	Liquid scrubbers
اختبار	Testing

fans	مراوح
Reproduction performance	أداء التناسل
Static, no deliver	استاتيكي، لايوجد دفع
stacking patterns	أنماط التكديس
environmental conditions	ظروف بيئية
Radiation	الإشعاع
thermal	حراري
solar	شمسي
Photoperiod lighting	الإضاءة في فترة ضوئية
Sheep	أغنام
reproduction	تناسل
ewes	نعاج
Furnaces, heat	أفران، حرارة
Electrical furnaces	أفران كهربائية
Economics	اقتصاديات
Wall panels	ألواح حائطية
Panels, hinged	ألواح مفصلية
Safety	الأمان
Transmittance	الإمرار
Ammonia	الأمونيا
Tubes	أنابيب
ventilation	تهوية
Ducts	أنابيب
ventilation	التهوية
air distribution	توزيع الهواء
pressurized	مكيّف الضغط
Plastic tubes, perforated	أنابيب بلاستيكية، مثقبة

أنابيب تهوية	Ventilation tubes
إنبات	Germination
أنبوبة بيتوت	Pitot tube
أنبوبة مدفونة	Pipe, buried
انتصاب الشَعْر	Piloerection
انتفاخ	Turgor
انتقال الحرارة بالإشعاع	Radiant heat transfer
انتقال الحرارة بالتوصيل	Conduction heat transfer
أنثى	Female
أنماط التكديس	Stacking patterns
أنماط الضغوط	Pressure patterns
الأوزون	Ozone
الإيثيلين	Ethylene

ب

باديء حركة مغناطيسي	Megnetic starter
البخر-نتح	Evapotranspiration
برامج الإضاءة	Lighting scheduales
برمجة	Modeling
بقاء الجنين	Embryo survival
البناء الضوئي	Photosynthesis
البيئة	Environment
-حرارية	thermal
-غازية	gaseous
بيض	Eggs
بيوت محمية	Greenhouses
-تصميم داخلي	interior design
-تصميم خارجي	exterior design

applications	تطبيقات
carbon dioxide	ثاني أكسيد الكربون
glazing materials	مواد أغطية
cropping level	نسبة الامتلاء بالمحصول

ت

Stack effect, temperature	تأثير التكدس، درجة الحرارة
Chimney effect, temperature	تأثير المدخنة، درجة الحرارة
contraction	انكماش
discharge	تصرف
velocity	سرعة
coefficients	معاملات
Ionization	التأين
Radiation exchange	تبادل إشعاعي
Diffusion exchange	تبادل انتشاري
Vaporization	التبخير
latent heat	حرارة كامنة
Cooling	التبريد
evaporative	تبخيري
sensible	محسوس
fan and pad	مروحة ووسادة
air	هواء
Refrigeration	تبريدي
Fan and pad cooling	تبريد بواسطة وسادة ومروحة
Evaporative cooling	تبريد تبخيري
adiabatic exchange	تبادل أدياباتي
cooling efficiency	كفاءة التبريد
Sensible cooling	تبريد محسوس

Mechanical refrigeration	تبريد ميكانيكي
Infrared	تحت الحمراء
Negative feedback control	تحكم في تغذية استرجاعية سالبة
Photoperiodic control	التحكم في الفترة الضوئية
tuberization	التدرن
flowering	تزهير
photoreaction	رد الفعل الضوئي
dormancy	سُبات
Feed conversion	تحويل الغذاء
Storage	التخزين
Tuberization	التدرن
Heating	التدفئة
floors	أرضيات
electric furnaces	أفران كهربائية
hot water pipes	أنابيب ماء حار
infrared	تحت الحمراء
equipment	تجهيزات
catalytic radiant heaters	دفايات إشعاعية حفّازة
resistance heaters	دفايات كهربائية
heating cabale	كابل تدفئة
electric	كهربية
heat exchangers	مبادلات حرارية
regeneratores	المجدّدات
sensible	محسوس
brooder lamps	مصابيح تدفئة حضانات
heat pumps	مضخات حرارية
recuperators	المعوّضات

hot water and steam systems	نظم ماء حار وبخار
warm air systems	نظم هواء دافيء
ventilating air	هواء تهوية
Infrared heating	تدفئة بالأشعة تحت الحمراء
Electrical heating	تدفئة كهربائية
electrical furnaces	أفران كهربائية
resistance-type heaters	دفايات كهربائية
Flowering	التزهير
Hot water heating	تسخين ماء حار
steam	بخار
forced circulation	تقليب مدفوع
gravity	الجاذبية
Sensible heating	تسخين محسوس
Warm air heating	تسخين هواء دافيء
Infiltration	تسرب
Design	تصميم
Management practices	التطبيقات الإدارية
Decay	تعفن
constant	ثابت
Steam sterilization	التعقيم بالبخار
Vasoconstriction	تقلص الأوعية الدموية
Feed costs	تكاليف الغذاء
Condensation	تكثيف
Operant conditioning	تكييف فعّال
Air-conditioning	تكييف - هواء
negative feedback control	التحكم في التغذية الاسترجاعية السالبة
controlled thermal inputs	تزويدات حرارية متحكم فيها

thermoregulation	التنظيم الحراري
thermoregulatory actuators	مشغّلات ميكانيكية للتنظيم الحراري
set point	نقطة ضبط
Pollution	التلوّث
Reproduction	التناسل
sheep, swine, cattle	أغنام وخنازير وماشية
female	أنثى
male	ذكر
Respiration	تنفس
Ventilation	التهوية
ducts	أنابيب
control	تحكم
zero pressure	ضغط صفر
neutral pressure	ضغط متعادل
natural	طبيعي
exhaust	طرد
attic	العليّة
requirements	متطلبات
control logic	منطق التحكم
systems	نظم
pressurized systems	نظم ضاغطة
natural systems	نظم طبيعية
mechanical systems	نظم ميكانيكية
Manure pit ventilation	تهوية حفرة المخلفات
Over-ventilation	تهوية زائدة
Natural ventilation	تهوية طبيعية
wind	رياح

تهوية العليّة	Attic ventilation
ث	
ثاني أكسيد الكربون	Carbon dioxide
ج	
جذور	Roots
بيئة	environment
مادة الوسط الجذري	substrate
الوسط	media
جراثيم	Bacteria
ح	
الحبل الشوكي	Spinal cord
حجم نوعي	Specific volume
حرارة	Heat
الإنتاج	production
الإنتاج الأيضي	metabolic production
انتقال	transfer
انتقال بالإشعاع	radiant transfer
انتقال بالحمل	convection transfer
تجهيزات	equipment
تزويدي	supplemental
التنفس	respiration
درجة حرارة حرجة	critical temperature
شمسي	solar
فرن	furnace
فقد	loss
فقد تبخيري	evaporative loss
فقد تنفسي	respiratory loss

total heat loss	فقد حراري كلي
animal loss	الفقد من الحيوان
latent	كامن
sensible (transfer)	محسوس (انتقال)
Equipment heat	حرارة الأجهزة
Convective heat	حرارة بالحمل
transfer	انتقال
coefficient of heat transfer	معامل انتقال الحرارة
Heat of respiration	حرارة التنفس
Latent heat	حرارة كامنة
production	الإنتاج
Latent heat of vaporization	الحرارة الكامنة لتبخير الماء
Sensible heat	حرارة محسوسة
transfer	انتقال
respiratory transfer	انتقال مع التنفس
loss	فقد
Thermal	حراري
radiation	إشعاع
transmittance	الإمرار
environment	بيئة
neutrality	التعادل
body temperature	درجة حرارة الجسم
critical temperature	درجة حرارة حرجة
physiology	فيسيولوچيا
zone of least thermoregulatory effort	منطقة أقل مجهود للتنظيم الحراري
thermoregulatory zone	منطقة التنظيم الحراري
Vasomotion	حركة انقباض الأوعية الدموية

Milk	حليب

خ

Charts	خرائط
Pychrometric chart	الخريطة السيكرومترية
Vegetables	خضر
heat of respiration	حرارة التنفس
relative humidity	الرطوبة النسبية
storage life	عمر التخزين
Mixing	خلط
Adiabatic mixing of air	خلط أدياباتي للهواء
Swine	الخنازير
feed conversion	تحويل الغذاء
heat loss	فقد حراري
rate of gain	معدل الاكتساب
activity	نشاط

د

Turkeys	الدجاج الرومي
Temperature	درجة الحرارة
cardinal	الأساسية
environmental	بيئية
stack effect	تأثير التكدس
chimney effect	تأثير المدخنة
control	تحكم
summer ambient design	تصميم جو صيفي
inside design	تصميم داخلي
regulation	تنظيم
ventilation, rise	تهوية، ارتفاع

moisture production	تولّد رطوبي
dry-bulb	جافة
root	جذر
optimum ambient	جو مثالي
critical	حرج
interior greenhouse	داخل البيت المحمي
wet-bulb	رطب
evaporative heat loss	فقد حراري تبخيري
sensible heat loss	فقد حراري محسوس
difference forces	قوى الفروقات
night	ليل
humidity index	مؤشر الرطوبة
plant	نبات
dew-point	نقطة-الندى
leaf	ورقة نبات
Cardinal temperature	درجة حرارة أساسية
Dry bulb temperature	درجة حرارة جافة
Summer ambient design temperatures	درجات حرارة الجو التصميمية الصيفية
Optimum ambient temperature	درجة حرارة الجو المثلى
Critical temperature	درجة حرارة حرجة
Night temperature	درجة حرارة الليل
Dew-point temperature	درجة حرارة نقطة-الندى
Leaf temperature	درجة حرارة ورقة النبات
Radiant heaters	دفايات بالإشعاع
Catalytic radiant heaters	دفايات إشعاعية حفّازة
Free air delivery	دفع هواء حر
Poultry	دواجن

laying hens	دجاج بيّاض
turkeys	دجاج رومي
broilers	دجاج لاحم
broiler chicks	كتاكيت
Thermoperiodism	الدورية الحرارية
health	الصحة
reproduction	التناسل

ذ

Male	ذكر

ر

Wet-bulb	رطب
depression	انخفاض
temperature	درجة الحرارة
Humidity	رطوبة
mass balance	اتزان رطوبة
winter	شتاء
levels	مستويات
index (temperature)	مؤشر (درجة حرارة)
ratio	نسبة
relative	نسبية
Moisture	رطوبة
control	تحكم
production	تولد
losses	فواقد
Winter humidity	رطوبة شتوية
Relative humidity	رطوبة نسبية
Prandtl number	رقم براندل

Grashof number	رقم جريشوف
Reynolds number	رقم رينولد
Nusselt number	رقم ناسيلت
Wind	رياح
direction	اتجاه
pressure patterns	أنماط ضغط
effects	تأثيرات
velocity	سرعة
air flow	سريان هواء
static pressure	ضغط استاتيكي
magnitude	كمية

ز

Hydroponics	الزراعة بالماء

س

Dormancy	سُبات
Plastic curtains	ستائر بلاستيكية
Entrainment	السحب
Velocity	السرعة
maximum	أقصى
profile	شكل جانبي
head	ضاغط
residual	متبقية
inlet	مدخل
coefficient of	معامل
Volumetric flow	سريان حجمي
Air flow	سريان هوائي
static pressure	ضغط استاتيكي

velocity	السرعة
wind	الرياح
Boundary layer thickness	سمك طبقة حدية

ش

Profile, velocity	شكل توزيع السرعة
Solar	شمسية
radiation	الإشعاع
transmission	إمرار
shading	تغطية
heat	حرارة
heat load	حمل تدفئة
energy	طاقة
collectors	مجمعات
glazing transmission	معامل الإمرار

ص

Health	الصحة

ض

Static pressure, air delivery	ضغط استاتيكي، دفع هواء
Light	الضوء

ط

Energy	الطاقة
balance	اتزان
use, monthly	استخدام، شهري
metabolism	الأيض
metabolizable	الأيضية
alternate	بدائل

feed	تغذية
intake	داخل
solar	شمسية
electrical	كهربائية
loss	مفقودة
Alternate energy	الطاقة البديلة
Feed energy	طاقة الغذاء
Electrical energy	طاقة كهربائية
Exhaust	الطرد
outlets	مخارج
fans	المراوح
ventilation systems	نظم التهوية

ظ

Exterior greenhouse design conditions	الظروف التصميمية الخارجية للبيوت المحمية
Interior greenhouse design conditions	الظروف التصميمية داخل البيت المحمي

ع

Calf (Calves)	عجل (عجول)
Insulation (building)	عازل (مبنى)
Sweating	العرق
Storage life of fruits and vegetables	عمر تخزين الفاكهة والخضر

غ

Methane	غاز الميثان

ف

Fruit	فاكهة
heat of respiration	حرارة التنفس
relative humidity	الرطوبة النسبية

storage life	عمر التخزين
Vents	فتحات
side or sidewall	جانبية أو حائط جانبي
ridge	حافة
Eave openings	فتحات إفريزية
Wall openings	فتحات حائطية
curtain walls	حوائط على هيئة ستائر
Ridge openings	فتحات حافة
uncovered	غيرمغطاة
Perimeter slotted air inlets	فتحات مداخل هوائية
Brushes, repulsion motors	فرش، محركات كهربائية من النوع التنافري
Litter	فرشة أرضية
Bedding	فرشة حيوانات
Pressure difference	فرق الضغط
static	ساكن
velocity	سرعة
total	كلي
Reproduction failure	فشل التناسل
Respiratory evaporation heat loss	فقد حراري تبخيري تنفسي
Conduction heat loss	فقد حراري بالتوصيل

ق

Dalton's law	قانون دالتون
Perfect gas law	قانون الغاز المثالي
Throw	قذفة
"laws" (fans)	"قوانين" (مراوح)

ك

Hydrogen sulfide	كبريتات الهيدروچين

Efficiency	كفاءة
fan rating	تصنيف المراوح
motors	محركات كهربائية
ventilation efficiency ratio	نسبة كفاءة التهوية
Reproduction efficiency	كفاءة التناسل

ل

Meat	لحم

م

Glazing greenhouse material	مادة غطاء البيت المحمي
Substrate	مادة الوسط الجذري
Cattle	ماشية
dairy cows	بقر حلاب
health	الصحة
calves	عجول
beef	لحم
reproduction	النسل
Livestock	ماشية ودواجن
Heat exchanger	مبادل حراري
regenerators	المجدّدات
recuperators	المعوّضات
Buildings	مباني
orientation	توجيه
dairy facilities	حظائر ماشية حلابة
insulation	عازل
ridge openings	فتحات حافة
Coolers	مبرّدات
pad material	مادة الوسادة

evaporative package units	وحدات تبريد متكاملة
pads	وسائد
Evaporative coolers	مبرّدات تبخيرية
performance	أداء
for greenhouses	للبيوت المحمية
systems	نظم
Dampers	مثبّطات
louver	فتحة
Collectors, solar	مجمعات، شمسية
Enthalpy	محتوى حراري
Repulsion motors	محركات تنافرية
Shaded pole motors	محركات ذات أقطاب معزولة
shading	العزل
Splite phase motors	محركات ذات أوجه منفصلة
Capacitor-start, induction-run motors	محركات ذات مكثف- بداية، تشغيل -حثي
Capacitor-start, Capacitor-run motors	محركات ذات مكثف- بداية، مكثف- تشغيل
Permanent split capacitor motors	محركات ذات مكثف دائم الانفصال
Series or universal motors	محركات عامة أو متوالية
Squirrel cage motors	محركات قفص السنجاب
Motors	محركات كهربائية
repulsion	تنافر
series	توالي
induction	حثي
universal	شامل
shaded pole	قطب معزول

squirrel cage	قفص السنجاب
efficiency	كفاءة
damper	مثبط
shutter	مصراع
capacitor-start,	مكثف - بدء حركة،
induction-run	تشغيل - حثي
capacitor-start,	مكثف - بدء حركة،
capacitor-run	مكثف- تشغيل
permanent split capacitor	مكثف دائم الانفصال
splite phase	وجه منفصل
Brain	مخ
Inlets	مداخل
velocity	السرعة
perimeter slotted	فتحة محيطية
center-ceiling, slotted	مركز-سقف، فتحة
placement	الموضع
Ceiling-wall inlet	مدخل حائطي-سقفي
slotted air inlets,	فتحات مداخل هوائية،
ceiling slot inlet	فتحة مدخل سقفية
center ceiling	في مركز السقف
Automatic controllers	مراقبات آلية
Fans	المراوح
testing	اختبار
controls	أدوات تحكم
static and mechanical	استاتيكية وميكانيكية
efficiency rating,	تصنيف الكفاءة،
recirculating	تقليب

stirring	تقليب
belt driven	دفع بالسيور
direct drive	دفع مباشر
propeller	الرفاصة
centrifugal flow	سريان طرد مركزي
axial flow	سريان محوري
maintenance	الصيانة
static pressure	ضغط استاتيكي
pressure sidewall	ضغط على حائط جانبي
exhaust	الطرد
"laws"	" قوانين "
tubeaxial	محور أنبوبي
vane axial	محور دوّار
flow rate	معدل سريان
location	الموضع
Belt driven fans	مراوح تدفع بالسيور
Vane axial fans	مراوح تربينية
Propeller fans	مراوح رفاصة
Centrifugal flow fans	مراوح سريان طرد مركزي
forward, backward, and radial	أمامي وخلفي ونصف قطري
Axial flow fans	مراوح سريان محوري
Radial centrifugal fans	مراوح طرد مركزي في اتجاه نصف القطر
Tubeaxial fans	مراوح محوري-أنبوبي
Relays	مرحلات
Vane anemometer	المرياح الدوّار
Thermoeceptors	مستقبلات حرارية
Calorimetry	مسعري

غير مباشر	indirect
مباشر	direct
مُشغّلات ميكانيكية	Actuators
دوراني	rotary
دوراني نسبي	proportional rotary
مُشغلات ميكانيكية دورانية	Rotary actuators
تناسبي	proportional
مصابيح تدفئة	Brooder lamps
مصاريع	Shutters
مضاءلات	Louver dampers
المضخات الحرارية	Heat pumps
المضغاط	Manometer
معادلات	Equations
الاستمرار	continuity
سريان هوائي حجمي	volumetric air flow
معادلة الاستمرار	Continuity equation
معالج البيانات	Microprocessor
معامل انتقال الحرارة بالتوصيل	Conduction heat transfer coefficient
معامل التصرف	Discharge coefficient
معدل الأيض	Metabolic rate
معدل الأيض الأساسي	Basal metabolic rate
معدل تهوية	Ventilation rate
أقصى معدل	maximum rate
أقل معدل مستمر	minimum continuous
مراحل	staging
معدل متوسط	medium rate
معدل الحَمْل	Conception rate

Flow rate (fans)	معدل سريان (مراوح)
power input	تزويد الطاقة
velocity pressure difference	فرق ضغط السرعة
total pressure difference	فرق ضغط كلي
static efficiency	كفاءة استاتيكية
mechanical efficiency	كفاءة ميكانيكية
Transpiration rates	معدلات النتح
moisture losses	فواقد رطوبية
dissolved substances	مواد متحللة
maturity	النضج
Recuperators	معوّضات
Switches	مفاتيح
thermostats	أجهزة تحكم في درجة الحرارة
Pychrometrics	مقاييس خواص الهواء الرطب
Electrical hygrometer	مقياس رطوبة كهربائي
Anemometer	مقياس لسرعة الهواء
stacking	تكديس
heat loss	فقد حراري
maximum energy efficiency	كفاءة أقصى نشاط
basal metabolic rate	معدل الأيض الأساسي
Pollutants	ملوّثات
ozone	الأوزون
ethylene	إيثيلين
liquid scrubbers	أجهزة غسل الغاز السائلية
Zones	مناطق
jet	نافورة
Logic, control	منطق التحكم

English	العربية
Filters	منقيات
fibrous	ليفي
Semen	المني (ماء الرجل)
fertility	الخصوبة
quality	الجودة
Dissolved substances	مواد متحللة
Placement	موضع (مدخل)
Regenerators	مولّدات

ن

English	العربية
Wall jet	نافورة حائطية
Free jet	نافورة حرة
entrainment	السحب
residual velocity	السرعة المتبقية
throw	القذفة
Transpiration	النتح
Cropping level	نسبة الامتلاء بالمحصول
Entrainment ratio	نسبة السحب
Ventilating efficiency ratio	نسبة كفاءة التهوية
Maturity	النضج
Evaporative systems	نظم تبخيرية
Ventilation systems	نظم تهوية
ceiling-slot inlet	فتحة مدخل-سقفية
tube inlet	مدخل أنبوبي
ceiling-wall inlet	مدخل حائط-سقفي
Mechanical ventilation systems	نظم تهوية ميكانيكية
pressure	ضغط
exhaust	طرد

neutral	متعادل
Jets (air)	نوافير (هواء)
wall	حائط
free	حرة
entrainment	السحب
residual velocity	سرعة متبقية
throw	القذفة
isothermal	مع ثبات درجة الحرارة
nonisothermal	مع عدم ثبات درجة الحرارة
zones	مناطق
Air jets	نوافير هوائية
Isothermal jets	نوافير عند ثبات درجة الحرارة
Nonisothermal jets	نوافير عند عدم ثبات درجة الحرارة

ه

Corona	هالة

Humidifying ventilation air	هواء تهوية مرطب
Air	هواء
exchange volumes	أحجام متبادلة
ducts	أنابيب
distribution	التوزيع
mixing	خلط
adiabatic mixing	خلط أدياباتي
velocity	السرعة
boundary layer thickness	سمك الطبقة الحدية
delivery	الطرد

openings	فتحات
outlets	مخارج
inlets	مداخل
exchange rate	معدل تبادل
circulation	دوران
contaminants	الملوثات
Dehumidifying air	هواء مزالة رطوبته
inside	داخلي
outside	خارجي
Ridge vents	هوايات حافة

و

Pads	وسائد
horizontal	أفقية
cooling	تبريد
vertical	رأسية
thickness	السمك
density	كثافة
porous	المسامية
Porous pad	وسادة مسامية
drip type	نوع بالتنقيط
rotary type	نوع دوراني
slinger type	نوع قاذف

ثانيًا: إنجليزي - عربي

A

Actuators	مُشغّلات ميكانيكية
proportional rotary	دوراني نسبي
rotary	دوراني
Adiabatic mixing of air	خلط أدياباتي للهواء
Air	هواء
adiabatic mixing	خلط أدياباتي
boundary layer thickness	سمك الطبقة الحدية
circulation	دوران
contaminants	الملوثات
delivery	الطرد
distribution	التوزيع
ducts	أنابيب
exchange rate	معدل تبادل
exchange volumes	أحجام متبادلة
inlets	مداخل
mixing	خلط
openings	فتحات
outlets	مخارج

pollutants	ملوّثات
velocity	السرعة
Air-conditioning	تكييف – هواء
Air flow	سريان هوائي
static pressure	ضغط استاتيكي
velocity	السرعة
wind	الرياح
Air jets	نوافير هوائية
Alternate energy	الطاقة البديلة
Ammonia	الأمونيا
Anemometer	مقياس لسرعة الهواء
basal metabolic rate	معدل الأيض الأساسي
heat loss	فقد حراري
maximum energy efficiency	كفاءة أقصى نشاط
stacking	تكديس
Attic ventilation	تهوية العليّة
Automatic controllers	مراقبات آلية
Axial flow fans	مراوح سريان محوري

B

Bacteria	جراثيم
Basal metabolic rate	معدل الأيض الأساسي
Bedding	فرشة حيوانات
Belt driven fans	مراوح تدفع بالسيور
Boundary layer thickness	سمك طبقة حدية
Brain	مخ
Brooder lamps	مصابيح تدفئة
Brushes, repulsion motors	فرش، محركات كهربائية من النوع التنافري

Buildings	مباني
dairy facilities	حظائر ماشية حلابة
insulation	عازل
orientation	توجيه
ridge openings	فتحات حافة

C

Calf (Calves)	عجل (عجول)
Calorimetry	مسعري
direct	مباشر
indirect	غير مباشر
Capacitor-start, Capacitor-run motors	محركات ذات مكثف-بداية، مكثف-تشغيل
capacitor-start, induction-run motors	محركات ذات مكثف-بداية، تشغيل -حثي
Carbon dioxide	ثاني أكسيد الكربون
Cardinal temperature	درجة حرارة أساسية
Catalytic radiant heaters	دفايات إشعاعية حفّازة
Cattle	ماشية
beef	لحم
calves	عجول
dairy cows	بقر حلاب
health	الصحة
reproduction	النسل
Ceiling-wall inlet	مدخل حائط-سقفي
Ceiling slot inlet	فتحة مدخل سقفية
Center ceiling, slotted air inlets	فتحات مداخل هوائية، في مركز السقف

Centrifugal flow fans	مراوح سريان طرد مركزي
forward, backward, and radial	أمامي وخلفي ونصف قطري
Charts	خرائط
psychrometric	سيكرومترية
Chimney effect, temperature	تأثير المدخنة، درجة الحرارة
Coefficients	معاملات
contraction	انكماش
discharge	تصرف
velocity	سرعة
Collectors, solar	مجمعات، شمسية
Conception rate	معدل الحَمْل
Condensation	تكثيف
Conduction heat loss	فقد حراري بالتوصيل
Conduction heat transfer	انتقال الحرارة بالتوصيل
Conduction heat transfer coefficient	معامل انتقال الحرارة بالتوصيل
Continuity equation	معادلة الاستمرار
volumetric flow	سريان حجمي
contraction	انكماش
coefficient	معامل
Controls	أجهزة تحكم
automatic	آلي
fan	مروحة
humidity	رطوبة
logic	منطق
maintenance	صيانة
microprocessor	معالج البيانات
pollution	التلوّث

sensing	إحساس
temperature	درجة الحرارة
thermostats	أجهزة تحكم في درجة الحرارة
variable speed	سرعة متغيّرة
ventilation	التهوية
Convective heat	حرارة بالحمل
coefficient of heat transfer	معامل انتقال الحرارة
transfer	انتقال
Coolers	مبرّدات
evaporative package units	وحدات تبريد متكاملة
pad material	مادة الوسادة
pads	وسائد
Cooling	التبريد
air	هواء
evaporative	تبخيري
fan and pad	مروحة ووسادة
sensible	محسوس
Corona	هالة
Critical temperature	درجة حرارة حرجة
Cropping level	نسبة الامتلاء بالمحصول

D

Dalton's law	قانون دالتون
Dampers	مثبّطات
louver	فتحة
Decay	تعفن
constant	ثابت
Dehumidifying air	هواء مزالة رطوبته

Design	تصميم
inside	داخلي
outside	خارجي
Dew-point temperature	درجة حرارة نقطة-الندى
Diffusion exchange	تبادل انتشاري
Discharge coefficient	معامل التصرف
Dissolved substances	مواد متحللة
Doors or panels	أبواب أو ألواح
center pivot	محور مركزي
curtain walls	حوائط على هيئة ستائر
hinged panels	ألواح مفصلية
plastic curtain	ستارة بلاستيكية
rooling doors	أبواب لفافة
sidewall	حائط جانبي
tilting	الميل
vertical sliding wall panel	لوح حائطي منزلق رأسي
Dormancy	سُبات
Dry bulb temperature	درجة حرارة جافة
Ducts	أنابيب
air distribution	توزيع الهواء
pressurized	مكيّف الضغط
ventilation	التهوية
Dust	الأتربة

E

Eave openings	فتحات إفريزية
Economics	اقتصاديات
Efficiency	كفاءة

fan rating	تصنيف المراوح
motors	محركات كهربائية
ventilation efficiency ratio	نسبة كفاءة التهوية
Eggs	بيض
Electrical furnaces	أفران كهربائية
Electrical heating	تدفئة كهربائية
electrical furnaces	أفران كهربائية
resistance-type heaters	دفايات كهربائية
Electrical hygrometer	مقياس رطوبة كهربائي
Electrical energy	طاقة كهربائية
Embryo survival	بقاء الجنين
Energy	الطاقة
alternate	بدائل
balance	اتزان
electrical	كهربائية
feed	تغذية
intake	الداخلة
loss	مفقودة
metabolism	الأيض
metabolizable	الأيضية
solar	شمسية
use, monthly	استخدام، شهري
Enthalpy	محتوى حراري
Entrainment	السحب
Entrainment ratio	نسبة السحب
Environment	البيئة
gaseous	غازية

thermal	حرارية
Equations	معادلات
continuity	الاستمرار
volumetric air flow	سريان هوائي حجمي
Equipment heat	حرارة الأجهزة
Ethylene	الإيثيلين
Evaporative systems	نظم تبخيرية
Evaporative coolers	مبرّدات تبخيرية
performance	أداء
for greenhouses	للبيوت المحمية
systems	نظم
Evaporative cooling	تبريد تبخيري
adiabatic exchange	تبادل أدياباتي
cooling efficiency	كفاءة التبريد
Evaporative heat loss	فقد حراري تبخيري
respiration	التنفس
Evapotranspiration	البخر-نتح
Exhaust	الطرد
fans	المراوح
outlets	مخارج
ventilation systems	نظم التهوية
Exterior greenhouse design conditions	الظروف التصميمية الخارجية للبيوت المحمية

F

Fans	المراوح
axial flow	سريان محوري
belt driven	دفع بالسيور

centrifugal flow	سريان طرد مركزي
controls	أدوات تحكم
direct drive	دفع مباشر
efficiency rating,	تصنيف الكفاءة ،
static and mechanical	استاتيكية وميكانيكية
exhaust	الطرد
flow rate	معدل سريان
"laws"	" قوانين "
location	الموضع
maintenance	الصيانة
pressure sidewall	ضاغطة على حائط جانبي
propeller	الرفاصة
recirculating	تقليب
static pressure	ضغط استاتيكي
stirring	تقليب
testing	اختبار
tubeaxial	محور أنبوبي
vane axial	محور دوّار
Fan and pad cooling	تبريد بواسطة وسادة ومروحة
Feed conversion	تحويل الغذاء
Feed costs	تكاليف الغذاء
Feed energy	طاقة الغذاء
Female	أنثى
Filters	منقيات
fibrous	ليفية
liquid scrubbers	أجهزة غسل الغاز السائلية
Floors (heating)	أرضيات (تدفئة)

heating cable	كابل تدفئة
hot water pipes	أنابيب مياه ساخنة
slotted	مثقبة
Flow rate (fans)	معدل سريان (مراوح)
mechanical efficiency	كفاءة ميكانيكية
power input	تزويد الطاقة
static efficiency	كفاءة استاتيكية
total pressure difference	فرق ضغط كلي
velocity pressure difference	فرق ضغط السرعة
Flowering	التزهير
Free air delivery	دفع هواء حر
Free jet	نافورة حرة
entrainment	السحب
residual velocity	السرعة المتبقية
throw	القذفة
Fruit	فاكهة
heat of respiration	حرارة التنفس
relative humidity	الرطوبة النسبية
storage life	عمر التخزين
Furnaces, heat	أفران، حرارة

G

Gas law, perfect	قانون الغاز المثالي
Germination	إنبات
Glazing greenhouse material	مادة غطاء البيت المحمي
Grashof number	رقم جريشوف
Greenhouses	بيوت محمية
applications	تطبيقات

carbon dioxide	ثاني أكسيد الكربون
cropping level	نسبة الامتلاء بالمحصول
exterior design	تصميم خارجي
glazing materials	مواد أغطية
interior design	تصميم داخلي

H

Health	الصحة
Heat	حرارة
animal loss	الفقد من الحيوان
convection transfer	انتقال بالحمل
critical temperature	درجة حرارة حرجة
equipment	تجهيزات
evaporative loss	فقد تبخيري
furnace	فرن
latent	كامن
loss	فقد
metabolic production	الإنتاج الأيضي
production	الإنتاج
radiant transfer	انتقال بالإشعاع
respiratory loss	فقد تنفسي
respiration	التنفس
sensible (transfer)	(انتقال) محسوس
solar	شمسي
supplemental	تزويدي
total heat loss	فقد حراري كلي
transfer	انتقال
Heat exchanger	مبادل حراري

recuperators	المعوّضات
regenerators	المجدّدات
Heat of respiration	حرارة التنفس
Heat pumps	المضخات الحرارية
Heating	التدفئة
brooder lamps	مصابيح تدفئة حضانات
catalytic radiant heaters	دفايات إشعاعية حفّازة
electric	كهربية
electric furnaces	أفران كهربائية
equipment	تجهيزات
floors	أرضيات
heat exchangers	مبادلات حرارية
heat pumps	مضخات حرارية
heating cabale	كابل تدفئة
hot water and steam systems	نظم ماء حار وبخار
hot water pipes	أنابيب ماء حار
infrared	تحت الحمراء
recuperators	المعوّضات
regeneratores	المجدّدات
resistance heaters	دفايات كهربائية
sensible	محسوس
ventilating air	هواء تهوية
warm air systems	نظم هواء دافيء
Hot water heating	تسخين ماء حار
forced circulation	تقليب مدفوع
gravity	الجاذبية
steam	بخار

Humidifying ventilation air	هواء تهوية مرطب
Humidistats	أجهزة تحكم في الرطوبة
electric hygrometer	مقياس رطوبة كهربي
Humidity	الرطوبة
control	تحكم
index (temperature)	مؤشر (درجة حرارة)
levels	مستويات
mass balance	اتزان رطوبي
ratio	نسبة
relative	نسبية
winter	شتاء
Hydrogen sulfide	كبريتات الهيدروچين
Hydroponics	الزراعة بالماء
Humidistats	أجهزة تحكم في الرطوبة

I

Infiltration	تسرب
Infrared	تحت الحمراء
Infrared heating	تدفئة بالأشعة تحت الحمراء
Inlets	مداخل
center-ceiling, slotted	مركز-سقف، فتحة
perimeter slotted	فتحة محيطية
placement	الموضع
velocity	السرعة
Insulation (building)	عازل (مبنى)
Interior greenhouse design conditions	الظروف التصميمية داخل البيت المحمي
Ionization	التأين
Isothermal jets	نوافير عند ثبات درجة الحرارة

J

Jets (air)	نوافير (هواء)
entrainment	السحب
free	حرة
isothermal	مع ثبات درجة الحرارة
nonisothermal	مع عدم ثبات درجة الحرارة
residual velocity	سرعة متبقية
throw	القذفة
wall	حائط
zones	مناطق
Latent heat	حرارة كامنة
production	الإنتاج

L

Latent heat of vaporization	الحرارة الكامنة لتبخير الماء
Law	قانون
Dalton's	دالتون
perfect gas	الغاز المثالي
"laws" (fans)	"قوانين" (مراوح)
Leaf temperature	درجة حرارة ورقة النبات
Light	الضوء
Lighting scheduales	برامج الإضاءة
Liquid scrubbers	أجهزة غسل الغاز السائلية
Litter	فرشة أرضية
Livestock	ماشية ودواجن
Logic, control	منطقية التحكم
Louver dampers	مضاءلات

M

Megnetic starter	باديء حركة مغناطيسي
Male	ذكر
Management practices	التطبيقات الإدارية
Manometer	المضغاط
Manure pit ventilation	تهوية حفرة مخلفات حيوانية
Maturity	النضج
Meat	لحم
Mechanical refrigeration	تبريد ميكانيكي
Mechanical ventilation systems	نظم تهوية ميكانيكية
exhaust	طرد
pressure	ضغط
neutral	متعادل
Metabolic rate	معدل الأيض
Methane	غاز الميثان
Microprocessor	معالج البيانات
Milk	حليب
Mixing	خلط
adiabatic of air	هواء أدياباتي
tubes	أنابيب
Modeling	برمجة
Moisture	رطوبة
control	تحكم
losses	فواقد
production	تولد
Motors	محركات كهربائية
capacitor-start,	مكثف - بدء حركة،

مكثف- تشغيل	capacitor-run
مكثف- بدء حركة ،	capacitor-start,
تشغيل- حثي	induction-run
مثبط	damper
كفاءة	efficiency
حثي	induction
مكثف دائم الانفصال	permanent split capacitor
تنافر	repulsion
توالي	series
قطب معزول	shaded pole
قفص السنجاب	squirrel cage
مصراع	shutter
وجه منفصل	splite phase
عامة	universal

N

تهوية طبيعية	Natural ventilation
رياح	wind
التحكم في تغذية استرجاعية سالبة	Negative feedback control
درجة حرارة ليلة	Night temperature
نوافير عند عدم ثبات درجة الحرارة	Nonisothermal jets
رقم ناسيلت	Nusselt number

O

تكييف فعّال	Operant conditioning
درجة حرارة الجو المثلى	Optimum ambient temperature
تهوية زائدة	Over-ventilation
الأوزون	Ozone

P

Pads	وسائد
cooling	تبريد
density	كثافة
horizontal	أفقية
porous	المسامية
thickness	السمك
vertical	رأسية
Panels, hinged	ألواح مفصلية
Perfect gas law	قانون الغاز المثالي
Perforated plastic tubes	أنابيب بلاستيكية مثقبة
Perimeter slotted air inlets	فتحات مداخل هوائية
Permanent split capacitor motors	محركات ذات مكثف دائم الانفصال
Photoperiod lighting	الإضاءة في فترة ضوئية
Photoperiodic control	التحكم في الفترة الضوئية
dormancy	سُبات
flowering	تزهير
tuberization	التدرن
photoreaction	رد الفعل الضوئي
Photosynthesis	البناء الضوئي
Pigs	خنازير
activity	نشاط
feed conversion	تحويل الغذاء
heat loss	فقد حراري
rate of gain	معدل الاكتساب
Piloerection	انتصاب الشَعْر
Pipe, buried	أنبوبة مدفونة

Pitot tube	أنبوبة بيتوت
Placement	موضع
Plastic curtains	ستائر بلاستيكية
Plastic tubes, perforated	أنابيب بلاستيكية، مثقبة
Pollutants	ملوّثات
ethylene	إيثيلين
ozone	الأوزون
Pollution	التلوّث
Porous pad	وسادة مسامية
drip type	نوع بالتنقيط
rotary type	نوع دوراني
slinger type	نوع قاذف
Poultry	دواجن
broiler chicks	كتاكيت
broilers	دجاج لاحم
laying hens	دجاج بيّاض
turkeys	دجاج رومي
Prandtl number	رقم براندل
Pregnancy rate	معدل الحمل
Pressure difference	فرق الضغط
static	ساكن
total	كلي
velocity	سرعة
Pressure patterns	أنماط الضغوط
Profile, velocity	شكل توزيع السرعة
Propeller fans	مراوح رفاصة
Psychrometric chart	الخريطة السيكرومترية

Psychrometrics	مقاييس خواص الهواء الرطب

R

Radial centrifugal fans	مراوح طرد مركزي في اتجاه نصف القطر
Radiant heat transfer	انتقال الحرارة بالإشعاع
Radiant heaters	دفايات بالإشعاع
Radiation	الإشعاع
solar	شمسي
thermal	حراري
Radiation exchange	تبادل إشعاعي
Recuperators	معوّضات
Refrigeration	تبريدي
Regenerators	مولّدات
Relative humidity	رطوبة نسبية
Relays	مرحّلات
Reproduction	التناسل
female	أنثى
male	ذكر
sheep, swine, cattle	أغنام وخنازير وماشية
Reproduction efficiency	كفاءة التناسل
Reproduction failure	فشل التناسل
Reproduction performance	أداء التناسل
Repulsion motors	محركات تنافرية
Respiration	تنفس
Respiratory evaporation heat loss	فقد حراري تبخيري تنفسي
Reynolds number	رقم رينولد
Ridge openings	فتحات حافة
uncovered	غيرمغطاة

Ridge vents	هوّايات حافة
Roots	جذور
environment	بيئة
media	الوسط
substrate	مادة الوسط الجذري
Rotary actuators	مُشغّلات ميكانيكية دورانية
proportional	تناسبي

S

Safety	الأمان
Semen	المني (ماءُ الرجل)
fertility	الخصوبة
quality	الجودة
Sensible cooling	تبريد محسوس
Sensible heat	حرارة محسوسة
loss	فقد
respiratory transfer	انتقال تنفسي
transfer	انتقال
Sensible heating	تسخين محسوس
Sensing devices	أجهزة حس
Sensing thermostats	أجهزة حس درجة الحرارة
Series or universal motors	محركات عامة أو متوالية
Shaded pole motors	محركات ذات أقطاب معزولة
shading	العزل
Sheep	أغنام
reproduction	تناسل
ewes	نعاج
Shutters	مصاريع

Spinal cord	الحبل الشوكي
Splite phase motors	محركات ذات أوجه منفصلة
Squirrel cage motors	محركات قفص السنجاب
Slotted floors	أرضيات مثقبة
Solar	شمسي
collectors	مجمعات
energy	طاقة
glazing transmission	معامل الإمرار
heat	حرارة
heat load	حمل تدفئة
radiation	الإشعاع
shading	تغطية
transmission	إمرار
Specific volume	حجم نوعي
Stack effect, temperature	تأثير التكدس، درجة الحرارة
Stacking patterns	أنماط التكديس
Static, no deliver	استاتيكي غير مدفوع
Static pressure, air delivery	ضغط استاتيكي، دفع هواء
Steam sterilization	التعقيم بالبخار
Storage	التخزين
stacking patterns	أنماط التكديس
environmental conditions	ظروف بيئية
Storage life of fruits and vegetables	عمر تخزين الفاكهة والخضر
Substrate	مادة الوسط الجذري
Summer ambient design temperatures	درجات حرارة الجو التصميمية الصيفية
Sweating	العرق
Swine	الخنازير

health	الصحة
reproduction	التناسل
Switches	مفاتيح
thermostats	أجهزة تحكم في درجة الحرارة

T

Temperature	درجة الحرارة
cardinal	الأساسية
chimney effect	تأثير المدخنة
control	تحكم
critical	حرجة
dew-point	نقطة-الندى
difference forces	قوى الفروقات
dry-bulb	جافة
environmental	بيئية
evaporative heat loss	فقد حراري تبخيري
humidity index	مؤشر الرطوبة
inside design	تصميم داخلي
interior greenhouse	داخل البيت المحمي
leaf	ورقة نبات
moisture production	تولّد رطوبي
night	ليلية
optimum ambient	جو مثالي
plant	نبات
regulation	تنظيم
root	جذر
sensible heat loss	فقد حراري محسوس
stack effect	تأثير التكدس

ventilation, rise	تهوية، ارتفاع
wet-bulb	رطب
Testing	اختبار
fans	مراوح
Thermal	حراري
body temperature	درجة حرارة الجسم
critical temperature	درجة حرارة حرجة
environment	بيئة
neutrality	التعادل
physiology	فيسيولوچي
radiation	إشعاع
thermoregulatory zone	منطقة التنظيم الحراري
transmittance	الإمرار
zone of least thermoregulatory effort	منطقة أقل مجهود للتنظيم الحراري
Thermoreceptors	مستقبلات حرارية
Thermoregulation	التنظيم الحراري
controlled thermal inputs	تزويدات حرارية متحكم فيها
negative feedback control	التحكم في التغذية الاسترجاعية السالبة
set point	نقطة ضبط
thermoregulatory actuators	مُشغّلات ميكانيكية للتنظيم الحراري
Thermoperiodism	الدورية الحرارية
Thermostats	أجهزة تحكم في درجة الحرارة
accuracy	الدقة
bi-metalic	ازدواج–معدني
differential	فرقي
lag	تأخر
liquid filled	امتلاء سائلي

range	مدى
sensing location	موضع الإحساس
switches	مفاتيح
switching differential	فرقي تحويلي
vapor filled	امتلاء بخاري
Timers, internal	أجهزة توقيت، داخلية
Throw	قذفة
jet	نافورة
Transmittance	الإمرار
Transpiration	النتح
Transpiration rates	معدلات النتح
maturity	النضج
moisture losses	فواقد رطوبية
dissolved substances	مواد متحللة
Tubeaxial fans	مراوح محوري-أنبوبية
Tuberization	التدرن
Tubes	أنابيب
ventilation	تهوية
Tubes, plastic perforated	أنابيب، بلاستيكية مثقبة
Turgor	انتفاخ
Turkeys	الدجاج الرومي

U

Universal motors	محركات عامة

V

Vane anemometer	المرياح الدوّار
Vane axial fans	مراوح تربينية
Vaporization	التبخير

latent heat	حرارة كامنة
Vasomotion	حركة انقباض الأوعية الدموية
Vasoconstriction	تقلص الأوعية الدموية
Vegetables	خضر
heat of respiration	حرارة التنفس
relative humidity	الرطوبة النسبية
storage life	عمر التخزين
Velocity	السرعة
coefficient of	معامل
head	ضاغط
inlet	مدخل
maximum	أقصى
profile	شكل جانبي
residual	متبقية
Ventilating efficiency ratio	نسبة كفاءة التهوية
Ventilation	التهوية
attic	العليّة
control	تحكم
control logic	منطق التحكم
ducts	أنابيب
exhaust	طرد
mechanical systems	نظم ميكانيكية
natural	طبيعية
natural systems	نظم طبيعية
neutral pressure	ضغط متعادل
pressurized systems	نظم ضاغطة
requirements	متطلبات

systems	نظم
tubes	أنابيب
zero pressure	ضغط صفر
Ventilation rate	معدل تهوية
minimum continuous	أقل معدل مستمر
medium rate	معدل متوسط
maximum rate	أقصى معدل
staging	مراحل
Ventilation systems	نظم تهوية
ceiling-wall inlet	مدخل حائط-سقفي
ceiling-slot inlet	فتحة مدخل-سقفية
tube inlet	مدخل أنبوبي
Ventilation tubes	أنابيب تهوية
Vents	فتحات
side or sidewall	جانبية أو حائط جانبي
ridge	حافة
Volume	حجم
specific	نوعي
Volumetric flow	سريان حجمي

W

Wall jet	نافورة حائطية
Wall openings	فتحات حائطية
curtain walls	حوائط على هيئة ستائر
Wall panels	ألواح حائطية
Warm air heating	تسخين هواء دافيء
forced circulation	تقليب بالدفع
gravity	الجاذبية

Water stress	إجهاد مائي
Wet-bulb	رطب
depression	انخفاض
temperature	درجة الحرارة
Wind	رياح
air flow	سريان هوائي
direction	اتجاه
effects	تأثيرات
magnitude	كمية
pressure patterns	أنماط ضغط
static pressure	ضغط استاتيكي
velocity	سرعة
Winter humidity	رطوبة شتوية

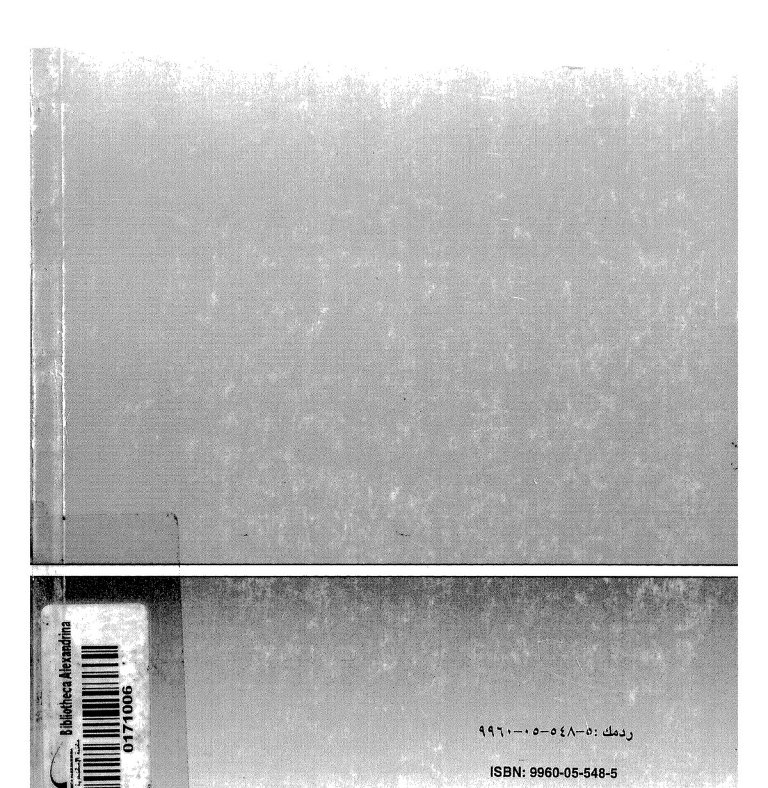
Z

Zones	مناطق
jet	نافورة

كشّاف الموضوعات

الدكتور/ محمد حلمي إبراهيم طلبة

- أستاذ مساعد بقسم الهندسة الزراعية – كلية الزراعة – جامعة الأسكندرية
- مواليد محافظة الأسكندرية عام ١٩٥٤م – جمهورية مصر العربية
- حصل على بكالوريوس الهندسة الزراعية بمرتبة الشرف من جامعة الأسكندرية عام ١٩٧٦م
- عُيّن معيداً بقسم الهندسة الزراعية – كليةالزراعة جامعة الأسكندرية عام ١٩٧٦م
- حصل على درجة الماجستير في الهندسة الزراعية عام ١٩٨١م من جامعة الأسكندرية
- نال درجة الدكتوراة في الهندسة الزراعية عام ١٩٨٨م من جامعة ولاية ميريلاند الأمريكية
- عمل مدرسًا بقسم الهندسة الزراعية بكلية الزراعة – جامعة الأسكندرية وتمت ترقيته إلى أستاذ مساعد عام ١٩٩٤م
- مُعار إلى جامعة الملك سعود منذ ١٩٩٢م، وله العديد من البحوث العلمية في مجال هندسة بيئة المنشآت الزراعية، ويقوم بتدريس العلوم ذات العلاقة بالهندسة الزراعية



ردمك :٥-٥٤٨-٠٥-٩٩٦٠

ISBN: 9960-05-548-5